

Juho Jormakka

LÄMMÖNTALTEENOTTO KERROSTALON POISTOILMASTA POISTOILMALÄMPÖPUMPULLA

Opinnäytetyö
Talotekniikan koulutusohjelma


Huhtikuu 2015




MAMK

University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 MAMK University of Applied Sciences	Opinnäytetyön päivämäärä 13.4.2015
Tekijä(t) Juho Jormakka	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Talotekniikan koulutusohjelma
Nimeke Lämmöntalteenotto kerrostalon poistoilmasta poistoilmalämpöpumpulla	
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää poistoilmalämpöpumppu-järjestelmän (PILP) toimintaa ja sen tuomia säästöjä vanhassa kerrostalossa. Energiansäästön selvittämistä varten selvitettiin rakennuksen sähkö- ja lämmitysenergiankulutukset ennen ja jälkeen PILP-järjestelmän. Takaisinmaksuajan selvittämistä varten selvitettiin PILP-järjestelmän investointikustannukset ja järjestelmän tuomat säästöt kulutuksissa.</p> <p>Kohteena on jyvaskyläläinen vuonna 1967 rakennettu 4-kerroksinen, 39 asuntoa ja 17 liikehuoneistoa käsittävä 3385 m² kerrostalo, joka on liitetty kaukolämpöön. Kaukolämmön rinnalle on asennettu poistoilmalämpöpumppujärjestelmä, joka on otettu käyttöön joulukuussa 2013. Rakennuksessa on koneellinen poistoilmanvaihto ilman lämmöntalteenottoa, PILP-järjestelmällä saadaan otettua poistoilmanvaihdon kautta muuten ulkoilmaan häviävää lämmitysenergiaa talteen noin 60 - 70 % ja siirrettyä tämä rakennuksen lämmitys- ja käyttöveden lämmitystarpeisiin.</p> <p>Vuonna 2014 PILP-järjestelmällä saatiin säästettyä tutkittavassa kohteessa yhteensä 34 % (232 MWh) lämmitys- ja sähköenergiaa verrattuna vanhaan tilanteeseen ilman PILP-järjestelmää. Tämä vastaa rahana 8805 € vuotuista säästöä, mikä tekee PILP:n takaisinmaksuajaksi noin seitsemän vuotta.</p> <p>Selvitys osoitti, että PILP-järjestelmä on huolellisesti toteutettuna energiataloudellinen saneerausvaihtoehto kaukolämmitettyyn kerrostaloon, jossa on koneellinen poistoilmanvaihto ilman lämmöntalteenottoa.</p>	
Asiasanat (avainsanat) Lämmöntalteenotto, lämpöpumppu, PILP, energiatehokkuus, energiansäästö, kerrostalo, kannattavuus	
Sivumäärä 73	Kieli Suomi
Huomautus (huomautukset liitteistä) 	
Ohjaavan opettajan nimi Martti Veuro	Opinnäytetyön toimeksiantaja LVI-Poretta Oy

DESCRIPTION

 MAMK University of Applied Sciences	Date of the bachelor's thesis 13.4.2015
Author(s) Juho Jormakka	Degree programme and option Building services engineering
Name of the bachelor's thesis Heat recovery of a residential building's exhaust air by exhaust air heat pump	
Abstract <p>The subject of this thesis was to investigate the performance and savings of an exhaust air heat pump system in a old existing residential building. To find out how much energy the system can save in this building, it was first investigated what were the building's electrical and heating energy consumptions before and after the exhaust air heat pump system. To investigate exhaust air heat pump system's payback period, I first had to investigate the system's complete investment costs and energy savings in this building.</p> <p>As a study case was used a building with four storeys and the building was built in 1967. There are 39 apartments and 17 business units including 3385 m² apartment house which were connected to district heating. In addition to the district heating, exhaust air heat pump system had been installed which was introduced in December 2013. The building has a mechanical exhaust air system without heat recovery where the exhaust air heat pump can save heating energy up to 60-70 % portion which otherwise loses without heat recovery into outside air. This heating energy can be transferred to buildings heating and domestic water needs.</p> <p>In 2014 exhaust air heat pump saved in a total of 34 % (232 MWh) heating and electrical common energy compared to old situation without exhaust air heat pump system. This is equivalent to an annual saving of 8805 € cash which makes exhaust air heat pump system's payback period to about seven years.</p> <p>This thesis showed that carefully planned exhaust air heat pump system is energy efficient renovation option in apartment houses which have mechanical exhaust air system without heat recovery.</p>	
Subject headings, (keywords) Heat recovery, heat pump, exhaust air heat pump, energy efficiency, energy saving, effectiveness	
Pages 73	Language Finnish
Remarks, notes on appendices 	
Tutor Martti Veuro	Bachelor's thesis assigned by LVI-poretta Oy

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	KERROSTALOT SUOMESSA 1880-2000.....	2
2.1	Perustietoa kerrostaloista.....	2
2.2	Korjausrakentaminen	3
2.2.1	Avustukset korjausrakentamisessa	4
2.3	Talotekniikka	5
2.3.1	Lämmitys 1880-2000	5
2.3.2	Käyttövesi- ja viemäri 1880-2000	6
2.3.3	Ilmanvaihto 1880-2000.....	7
3	LÄMPÖPUMPUT SUOMESSA	9
3.1	Yleistä.....	9
3.2	Yleistyminen.....	12
4	ENERGIA SUOMESSA	15
4.1	Yleistä.....	15
4.2	Energiankäyttö rakennuksissa.....	17
4.3	Kaukolämmön hinta ja sen kehitys	19
4.4	Sähkön hinta ja sen kehitys	20
4.5	Energian kulutus ja tarve	21
4.6	Lämmitystarveluku	23
5	POISTOILMALÄMPÖPUMPPU	29
5.1	Yleistä.....	29
5.2	Toimintaperiaate	31
5.3	Mallit	32
5.4	Poistoilmalämpöpumpun etuja	36
5.5	Huomioitavat asiat	37
5.6	Sopivuus erilaisiin kohteisiin.....	39
5.7	Mitoitus.....	39
5.8	Kytkentämallit	42
6	ESIMERKKIKOHDE: AS OY KAUPPAKATU 9.....	46
6.1	Perustiedot	46
6.2	LVI-järjestelmät	47

6.3	Poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate ja kytkentä	51
6.4	Kaukolämmön kulutukset ja kustannukset kuukausittain 2014.....	53
6.5	Sähköenergian kulutukset ja kustannukset kuukausittain 2014.....	54
6.6	Kaukolämmön kulutukset ja kustannukset vuosina 2011-2014	56
6.7	Sähköenergian kulutukset ja kustannukset vuosina 2012-2014	57
6.8	Normeerattu energiankäyttö vuonna 2014	59
6.9	Nykyarvomenetelmä	60
6.10	Takaisinmaksuaika PILP-järjestelmälle	61
6.11	Sijoitetun pääoman tuotto PILP-järjestelmälle	63
6.12	Vertailu muihin vastaaviin kohteisiin	64
7	YHTEENVETO	66
	LÄHTEET	68

1 JOHDANTO

Suomessa on noin 57 000 asuinkerrostaloa, joista suuri osa on rakennettu 1960 - 1970 -luvulla. Nämä ja lukuiset muut rakennukset ovat siinä iässä, että niissä tarvitaan korjaustoimenpiteitä. Jatkuva energianhintojen nousu ja kasvava huoli kasvihuoneilmiön etenemisestä ovat johtaneet siihen, että kiinteistöjen omistajat ja taloyhtiöt haluavat säästää energiaa. Myös Ympäristöministeriö on huomionnut tämän julkaisemalla korjaus- ja muutosrakentamisesta määräykset, joissa rakennusten energiatehokkuutta pyritään parantamaan.

Yhtenä merkittävänä energiankuluttajana ovat suuret rakennukset, joissa on koneellinen poistoilmanvaihto ilman lämmöntalteenottoa. Näissä rakennuksissa ilmanvaihdon kautta poistuu ulkoilmaan lämmitysenergiaa turhaan jopa yli kolmannes. Näissä on suuri potentiaali energiasaneeraustoimenpiteille, mikä voidaan toteuttaa esimerkiksi poistoilmalämpöpumpulla, mikä on viimeaikoina suuresti suosittua kasvattanut ratkaisu parantaa rakennuksen energiatehokkuutta.

Opinnäytetyössä selvitetään poistoilmalämpöpumpun toimintaa ja kannattavuutta jyväsyläläisessä kerrostalossa, joka on tyypillinen edellä mainittu kohde eli 1960 - 1970 -lukujen taitteessa rakennettu suurehko kerrostalo varustettuna koneellisella poistoilmanvaihdoilla. Kohteessa on ollut toiminnassa poistoilmalämpöpumppu joulukuusta 2013 lähtien, eli vuoden 2014 kulutuksia ja kustannuksia lähdetään vertaamaan aiempien vuosien tilanteisiin ja lopuksi järjestelmän kannattavuutta arvioidaan eri menetelmin.

Opinnäytetyössä käydään myös läpi kerrostalojen historiaa korjausrakentamisen ja talotekniikan osilta 1800-luvun lopulta nykyhetkeen.

2 KERROSTALOT SUOMESSA 1880-2000

2.1 Perustietoa kerrostaloista

Kerrostalo on rakennus, jossa on vähintään kolme asuntoa, joista ainakin kaksi on päällekkäin. Asuinkerrostaloja alettiin rakentamaan Suomen kaupunkeihin, erityisesti Helsinkiin jo 1800-luvulla. Alkuun kerrostaloissa oli yleisesti kolmesta neljään kerrosta, mutta 1800-luvun lopulla alettiin Helsingin suurimpiin kaupunginosiin rakentaa jo seitsemänkerroksisia kerrostaloja. Kerrostalorakentaminen lisääntyi runsaasti talvi- ja jatkosotien jälkeen, ennen 1940-lukua rakennettuja kerrostaloja on enää alle 10 % maamme kerrostalokannasta. Yli 60 % kerrostaloista on rakennettu vuoden 1970 jälkeen.

Tyypillisesti kerrostalo on kivimateriaalista, esimerkiksi teräsbetonielementeistä koottu 2 - 5 kerroksinen ja 2 - 4 porrashuoneinen rakennus, jossa joka kerroksessa on 2 - 5 asuntoa. Kerrostaloasunnossa on tyypillisesti yhdestä neljään huonetta, kaksion ollessa yleisin huoneisto. Huoneistot käsittävät vaihtelevasti keittiön, olohuoneen, makuuhuoneita, wc:n, vaatehuoneen, eteisen, saunan sekä parvekkeen. Kerrostalon yleisiin tiloihin kuuluvat usein pesutupa, kuivaushuone, irtainvarasto, ulkovarasto, sauna, kylmäkellari, ullakko, väestönsuoja ja hissi (erityisesti yli kolmikerroksiset talot). [13.]

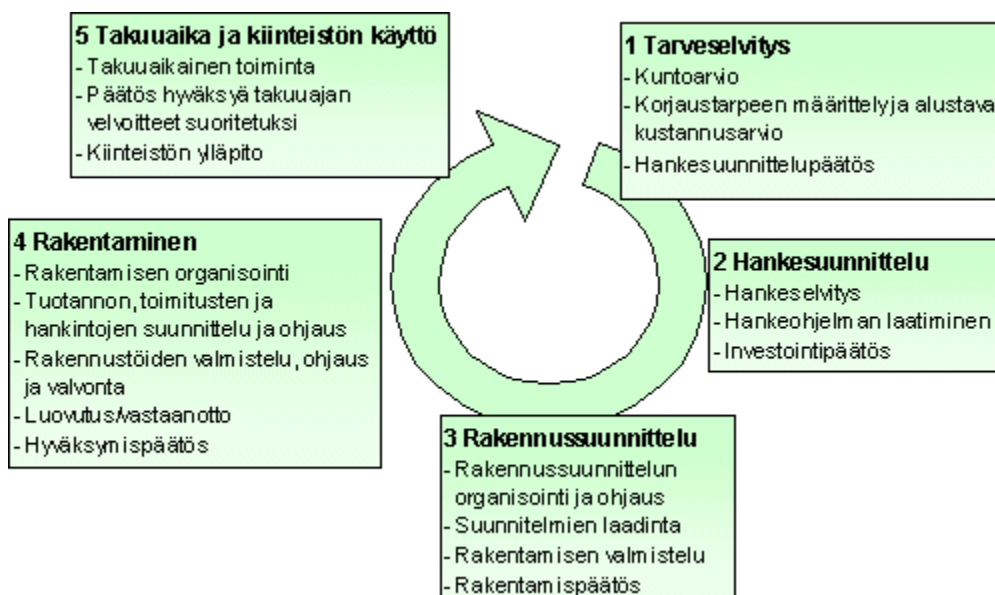
Suuri osa kerrostaloista kuuluu asunto-osakeyhtiöille, joiden osakkeita asukkaat omistavat ja saavat näin hallita omaa asuntoaan (omistusoikeusasunto). Osa kerrostaloista on suurten yhtiöiden tai kaupungin omistuksessa, jotka vuokraavat asuntoja asukkaille (vuokra-asunto). Uusimmissa kerrostaloissa on myös asumisoikeusasuntoja ja osaomistusasuntoja, joissa asukas omistaa asumisoikeuden rakennuttajayhtiön omistamaan asuntoon. Asumisoikeusmaksu on yleensä noin 15 - 30 % asunnon hankintahinnasta ja sen jälkeen kuukausittaista käyttövastiketta maksamalla saa oikeuden asunnon hallintaan omistusasunnon tapaan. Asumisoikeusasuntoa ei voi kuitenkaan lunastaa omaksi, toisin kuin osaomistusasuntoa. Osaomistusasunnossa maksetaan yleensä noin 20 - 30 % asunnon hankintahinnasta ja asutaan aluksi vuokralla ensimmäiset vuodet, jonka jälkeen asunto lunastetaan omaksi. [3, s. 246-247.]

2.2 Korjausrakentaminen

Korjausrakentamisella eli saneerauksella tarkoitetaan rakennuksen korjaus- tai muutostoimenpidettä. Korjausrakentaminen on osa jokaisen talon ja huoneiston elinkaarta, joiden tarkoituksena on esimerkiksi turvata rakennuksen käyttökelpoisuutta, jatkaa käyttöikää, turvata rahallista arvoa, uudistaa rakennusta muuttuviin tarpeisiin, parantaa energiatehokkuutta ja säilyttää arvokkaita ominaispiirteitä. Rakennuksen käyttöiän aikana ei yleensä saneerausta montaa kertaa tehdä, sillä useasti ne tehdään kerralla laajemmilta osin. Rakennuksen ja sen järjestelmien säännöllisillä hoito- ja huoltotoimenpiteillä pidennetään rakennusosien käyttöikää ja vähennetään uusimistarvetta. [3, s. 246.]

Korjaus- ja perusparannustoimenpiteitä tehdessä on noudatettava kesäkuussa vuonna 2013 voimaan tulleita korjausrakentamismääräyksiä. Nykyisiä rakentamismääräyksiä voidaan soveltaa, mutta usein on rakennusteknisesti turvallisempaa käyttää rakennuksen valmistumisajan aikaisia määräyksiä, sillä eri aikakausien rakennustekniset ratkaisut saattavat poiketa toisistaan huomattavasti. Muutosten johdosta rakennuksen käyttäjien turvallisuus ei saa vaarantua eikä heidän terveydelliset olonsa heikentyä. [14, s. 24.]

Asunto-osakeyhtiön korjaushankkeen korjaus- ja muutostöiden tulisi perustua pitkän tähtäimen korjaussuunnitelmaan (PTS), jossa arvioidaan tulevia esimerkiksi seuraavien 10-20 vuoden aikana tarvittavia korjauksia kustannusarvioineen. Korjaussuunnitelman tulee pohjautua yleispiirteiseen kuntoarvioon, jossa selvitetään kaikkien rakennusosien ja teknisten järjestelmien kunto. Tässä vaiheessa usein selvitetään myös rakennuksen energiataloudellisuus. Muita korjaushankkeen osia ovat hankesuunnittelu, rakennussuunnittelu, rakentaminen, takuu aika ja kiinteistön käyttö, tarvittavien lupien hankkiminen ja määräysten selvittäminen (kuva 1). [15; 13, s. 248-249.]



KUVA 1. Korjaushankkeen vaiheet [41]

Suurimpia korjaushankkeita taloudellisesti ja hallinnollisesti kerrostaloissa ovat yleensä putkiremontit, jotka koittelevat suuresti myös asukkaita. Useasti asukkaat joutuvat muuttamaan putkiremontin aikana muualle asumaan yhdestä viikosta muutamaksi kuukaudeksi riippuen työn laajuudesta. Korjaustyöarvioinnista työn toteutukseen menee normaalisti 2 - 3 vuotta. Itse työn kesto riippuu toimenpiteiden laajuudesta ja valituista korjausmenetelmistä, mutta yleensä työn kesto on noin 6 - 18 kuukautta. Hinnaltaan putkien uusiminen maksaa esimerkiksi tällä hetkellä Helsingin alueella verollisena arviolta 600-800 €/m² ja kunnostaminen (esimerkiksi viemärit pinnoitetaan, patteriventtiilit uusitaan ja käyttövesi pintavetoina) noin 200 - 400 €/m².

Putkistojen käyttöikä on noin 40 - 50 vuotta, eli tällä hetkellä 1960 - 1970 -lukujen talot ovat putkien uusimisikässä ja vanhemmissa taloissa voi olla jo talon toinenkin putkiremontti edessä. Putkiremonttiin kuuluu yleensä putkitöiden lisäksi sähkö- ja rakennustöitä, joissa yleensä esimerkiksi kylpyhuoneiden vedeneristys ja laatoitus uusitaan. [16.]

2.2.1 Avustukset korjausrakentamisessa

Moniin korjausrakentamistöihin voi saada yhteiskunnan taloudellista tukea. Tärkeimmät tuen myöntäjät ovat valtio, kunnat ja alueelliset ympäristökeskukset.

Avustuksia ovat esimerkiksi:

- *Kotitalousvähennys*: Verovähennys, minkä yksittäinen osakkeenomistaja voi saada asunnossaan teetetyistä kunnossapito- ja perusparannustöistä.
- *Korjausavustukset*: Taloudellinen avustus, minkä kunnat ovat myöntäneet alueillaan korjattaviin kohteisiin. Esimerkkinä vanhainkodit, vammaisasunnot, kuntoarvioiden ja –tutkimusten teko. Avustuksen myöntää valtion asuntorahasto, jos avustus on suunnattu kunnalle tai se on tarkoitettu hissien rakentamiseen ja liikuntaesteiden poistoon.
- *Energia-avustukset*: Taloudellinen avustus, minkä kunnat ovat myöntäneet alueillaan toimenpiteisiin, mitkä parantavat rakennusten energiatehokkuutta. Avustuksen myöntää valtion asuntorahasto, jos avustus on suunnattu kunnalle.
- *Rakennusperintö- ja entistämisavustukset*: Taloudellinen avustus, jonka alueelliset ympäristökeskukset ja Museovirasto myöntävät historiallisten rakennusten korjaus- ja entisöimistoimenpiteisiin. [17.]

2.3 Talotekniikka

2.3.1 Lämmitys 1880-2000

Huonekohtainen uunilämmitys oli kerrostalojen yleisin lämmitysmuoto 1910-luvulle asti, kunnes rakennuksissa alkoi yleistyä keskuslämmitys. Ensimmäinen keskuslämmitys asuinkerrostaloon Suomessa asennettiin tietävästi vuonna 1886. Alkuun keskuslämmitystä kokeiltiin höyrylämmitteisenä, mutta kokeilujen jälkeen vesikiertoinen keskuslämmitys vakiintui yleisimmäksi järjestelmäksi, mikä on yhä edelleen yleisin keskuslämmitystapa. [3, s. 69.]

Ensimmäiset vesikiertoiset keskuslämmitykset olivat painovoimakiertoisia patterilämmityksiä, mikä perustui kylmän ja kuumen veden tiheyseroon ja tämä järjestelmä taas edellytti varsin suuria putkikokoja. Kattilan lämmityksen hoiti talonmies. Vuonna 1950 otettiin käyttöön ensimmäinen kaukolämpöverkosto Helsingin Olympiakylässä ja samoihin aikoihin alettiin myös käyttää kiertovesipumppuja lämmityksessä, mikä mahdollisti pienemmät putkikoot ja raskaiden valurautapattereiden vaihtamisen kevyisiin teräslevypattereihin. Myös ensimmäiset lattialämmitykset rakennettiin silloin, mikä

mahdollisti tilaa vievien pattereiden jättämisen pois ja lattiaan ulottuvien ikkunoiden käyttöön. [3, s. 113.]

Vuodesta 1960 eteenpäin yleisin lämmitysmuoto on ollut alue- tai kaukolämpöverkoston kytketty pumppukiertoinen kaksiputkipatterilämmitys, jossa on erilliset kerrosten läpi kulkevat nousulinjat sekä meno- että paluuvettä varten. 1990-luvulla alkoi yleistyä asuntajakotukijärjestelmä, missä runkolinjat sijoitettiin porrashuoneisiin, josta ne liittyvät huoneistokohtaiseen jakotukkiin. Jakotukilta vaakavedot kulkevat pattereille muoviputkissa lattiarakenteiden sisällä. Tämä mahdollistaa huoneistokohtaisen lämpöenergiankulutuksen mittauksen. [3, s. 181.]

Tänä päivänäkin kaukolämmitykseen liitetty vesikiertoinen patterikeskuslämmitys on yleisin lämmitysmuoto kerrostaloille. Asumisen vaatimustason kasvaessa lattialämmitys on alkanut yleistyä uusissa kerrostaloissa muun muassa suurempien ikkunakokojen ja äänivaatimuksien vuoksi. [3, s. 230.]

2.3.2 Käyttövesi- ja viemäri 1880-2000

Vesijohtoputkien asentaminen vanhoihin ja uusiin rakennuksiin alkoi Helsingissä vuonna 1876 ja 1900-luvun ensimmäisinä vuosina vesilaitoksia otettiin käyttöön suurimmissa kaupungeissa, muun muassa Oulussa (1901), Tampereella (1901) ja Turussa (1903). Alkuun vesi tuli rakennuksiin kylmänä ja se lämmitettiin käyttötarpeisiin huoneistokohtaisesti keittiön tulisijojen yhteyteen rakennetuissa kuumavesisäiliöissä. Ensimmäiset vesikäymälät ilmestyivät 1880-luvulla mutta yleistyivät kerrostaloissa vasta 1900-luvun alkuvuosina. Pesuhuoneissa oli pesuammeet kylvyssä käyntiä varten. Huoneistokohtaiset kaasulla toimivat vedenlämmittimet yleistyivät niiden vaivattomuuden vuoksi, mutta keskuslämmitykseen siirtyminen 1910 - 1920-luvuilla syrjäytti huoneistokohtaiset vedenlämmittimet. Yleensä käyttöveden lämmitystä varten oli oma erillinen lämmityskattilansa. Kylmävesijohdot olivat rakennusten sisällä yleisesti galvanoimattomasta terästä ja niistä irtosi ruostetta käyttöveteen. Galvanoituihin teräsputkiin siirryttiin vasta 1920-luvun alussa. Lämmönvesijohdot olivat kuparia ja viemärit muhvollisia valurautaputkia. [3, s. 69.]

1950-luvulta lähtien myös kylmävesijohdot alettiin tehdä kupariputkilla. Muoviviemärien valmistus alkoi 1965, mutta ongelmat niiden liitosten ja lämmönkestävyyden kanssa tekivät sen, etteivät viemärit heti yleistyneet. Vuoden 1971 jälkeen muhvolliset valurautaviemärit muuttuivat punaiseksi maalattuihin pantaliitoksilla oleviin valurautaviemäreihin. Vuonna 1975 muoviviemäreiden käyttö kuitenkin yleistyi huomattavasti muhvollisten PVC-HT –viemäreiden tultua markkinoille. Myös muoviputkien käyttö vesijohdoissa alkoi yleistymään näinä aikoina. [3, s. 181-182.]

1990-luvulla tuli vedensäästöbuumi, minkä seurauksena alettiin suosia suihkuja kylpyammeiden sijaan. Myös vettä säästävät yksiotesekoittajat yleistyivät ja huoneistokohdattaiset vesimittarit alkoivat yleistyä. Yleinen tapa 1990-luvulla ja yhä nykyäänkin on tuoda lämmitysputkien tapaan vesi- ja viemäriputkien pystykuilut porrashuoneisiin, jolloin kaikki talotekniikka voidaan tuoda asuntoihin vaakasuunnassa välipohjia lävistämättä jakotukkien kautta muoviputkilla, jotka kulkevat suojaputkissa lattian pintarakenteiden alla. [3 s. 230-232.]

2.3.3 Ilmanvaihto 1880-2000

Ilmanvaihto toteutettiin 1800-luvun lopulla painovoimaisesti tulisijan savuhormin kautta, perustuen lämpimän ja kylmän ilman tiheyseroon sekä tuulen aiheuttamiin paine-eroihin. Tulisijalämmitteisissä taloissa ilmanvaihto oli siis kytköksissä tulisijaan, jolloin esimerkiksi uunia käytettäessä tulihormit toimivat myös tehokkaina poistoilmakanavina. Raitis ulkoilma saatiin muurattujen raitisilmakanavien kautta, jota saatiin säädeltä ”räppänällä”. Pitkät hormit saivat aikaan paremman vedon alimpiin huoneisiin, ylemmissä kerroksissa ilma vaihtui heikommin. Suurimmillaan ilmanvaihto oli talvella suurten lämpötilaerojen vuoksi, kesällä jouduttiin monesti avaamaan ikkunoita ilmanvaihtuvuuden aikaansaamiseksi. [3, s. 70.]

Myöhemmin 1920-luvulla ilmanvaihdon toimintaperiaate oli sama, se tapahtui painovoimaisesti. Tällöin alettiin suosia erillisiä poistoilmakanavia savuhormien sijaan ja kanavat sijoitettiin vedon takaamiseksi rakennusten keskiosiin, ettei kylmä ulkoseinä estä lämpimän poistoilman ylösnousemista. Jokaisella huoneella oli oma poistoilmakana-

vansa, jotka kuitenkin saatettiin liittää yhteiseen puutorveen, mikä sitten vietiin vesikatolle. Raitisilmakanavat tehtiin vieläkin muuraamalla, mutta myös ikkunalautaan tai sen alle sijoitettavat rakoventtiilit alkoivat yleistyä. Poistoilmanvaihtoa alettiin tehostamaan vesikatolle poistoilmakanavan päähän asennettavien ”roottori-imurien” avulla, joka tuulen vaikutuksesta sai poistokanavaan lisää imua. [3, s. 114-117.]

Painovoimainen ilmanvaihto oli yleisin ilmanvaihdon muoto 1950-luvun puoliväliin asti, kunnes rakennushallitus hyväksyi Suomen Puhallintehdas Oy:n SP-yhteiskanavajärjestelmän ja näin yhteiskanavapoistojärjestelmät alkoivat yleistyä kerrostaloissa. Poistoilmaventtiilit sijoitettiin entiseen tapaan keittiöihin, WC- ja kylpyhuoneiloihin ja vaatehuoneisiin. Aiemmasta poiketen eri kerroksissa sijaitsevat samat tilat liitettiin yhteiseen kerrosten läpi kulkevaan pystysuoraan muurattuun poistoilmakanavaan, joka johti ullakolla olevaan puhallinkammioon, joka poisti ilmaa koko rakennuksesta. Yhteiskanavapoistojärjestelmä mahdollisti sääolosuhteista riippumattoman toiminnan sekä vähäisen tilantarpeen, millä saatiin enemmän asuineliöitä käytettäväksi ja myytäväksi. Haittapuolina järjestelmä toi melu- ja hajuhaittoja, paloturvallisuus heikentyi ja raitisilma piti alkaa ottamaan toista kautta kuin ennen, sillä kammiopuhallin imi ilmaa ikkunoiden ja ovien sekä rakenteiden väliin jääneiden rakojen kautta. [3, s. 114-117.]

Vuosina 1960 - 1975 saatettiin yhä käyttää 3-4 -kerroksissa kerrostaloissa painovoimaista ilmanvaihtoa, mutta muuten yhteiskanavapoistojärjestelmä oli yleisin. Tällöin alettiin käyttämään myös kierresaumattuja peltikanavia betonisten valmiselementtihormien sijaan. Tavallinen korvausilmatapa oli poistaa ikkunaa asennettaessa pätkä sisäpuutteen tiivisteestä tai luottaa ulkoseinän rakenteen hataruuteen. Puhaltimet alkoivat olemaan kaksinopeuksisia, jolloin taloon saatiin tehostettu ilmanvaihto tietyksi aikaa vuorokautta normaalin ilmanvaihdon lisäksi. [3, s. 188.]

1975 vuodesta eteenpäin yhä yleisin ilmanvaihdon muoto oli yhteiskanavapoisto. Keittiön poistoilmaventtiili sijoitettiin liesikuvun yhteyteen. Poistoilmapuhaltimiin tuli termostaatit, jotka estivät suuremman kierrosluvun käytön lämpötilan ollessa alle -10 °C. Vuonna 1988 tulivat uudet määräykset, jotka edellyttivät toisenlaisia raitisilmaratkaisuja, kuin mitä aiemmin oli toteutettu. Taloihin alettiin asentamaan seinäventtiileitä,

ikkunakarmiventtiileitä ja myös erikoisrakenteisia tuloilmaikkunoita asennettiin. Ongelmana kuitenkin koneellisessa poistoilmassa oli, että sen myötä jopa yli kolmannes rakennuksen lämmitysenergiasta meni hukkaan, joten uusia energiatehokkaampia ratkaisuja oli kehitettävä.

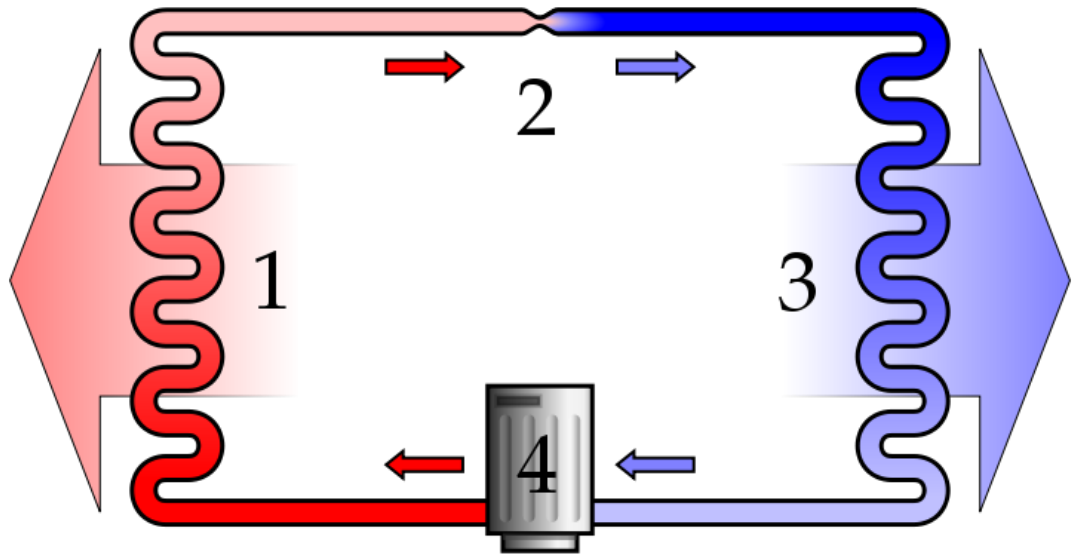
Nykyäikää vastaavat koneellisella tulo- ja poistoilmavaihdolla varustetut ilmanvaihtojärjestelmät tulivat muutamiin koekohteisiin 1970 - 1980-luvuilla, mutta ne yleistyivät vasta 1990-luvulla. Tuloilma johdetaan peltikanavilla ”puhtaisiin tiloihin” (makuu- ja olohuoneet) ja poistetaan ”likaisista tiloista” (WC, kylpyhuone, keittiö ja vaatehuone). Tämä mahdollisti myös energiataloudellisuutta edistävän lämmöntalteenoton, joka siirtää lämpimästä poistoilmasta lämpöenergiaa kylmään tuloilmaan, jottei tuloilmaa tarvitse lämmittää niin paljoa eikä puhaltaa niin kylmänä huoneistoihin. Liian viileä tuloilma on veto- ja käyttömukavuusriski. Koska järjestelmässä on suodattimet, myös ilmanlaatu paranee rakennuksessa. Järjestelmät ovat keskitettyjä tai huonekohtaisia. Huonekohtainen ilmanvaihtokone mahdollistaa paremmat säätömahdollisuudet huonekohtaisesti, keskitetyssä mallissa talolla on yhteinen ilmanvaihtokone, jolloin huonekohtaiset säädöt ovat rajatumpia, mutta toteuttaminen ja huoltaminen edullisempaa. [3, s. 233.]

3 LÄMPÖPUMPUT SUOMESSA

3.1 Yleistä

Rakennuksissa käytetään neljää peruslämpöpumppumallia: maalämpöpumppu, ilma-vesilämpöpumppu, poistoilmalämpöpumppu ja ilmalämpöpumppu.

Lämpöpumpun kiertoprosessissa siirretään prosessiin tehdyn työn avulla lämpöä matalammasta lämpötilasta korkeampaan. Prosessissa kiertää kylmäaine, jonka höyrystämiseen ja lauhduttamiseen eri painetasoilla koko kiertoprosessi perustuu. Kaikki kylmäkoneet, esimerkiksi pakastimet ja jääkaapit toimivat samalla periaatteella.



KUVA 2. Lämpöpumpun kiertoprosessi

Kuvassa (2) esitetään lämpöpumpun pääosat:

1. Lauhdutin
2. Paisuntaventtiili
3. Höyrystin
4. Kompressor

TAULUKKO 1. Kylmäaineen muodot lämpöpumpun perusosien välillä

Pääosien välinen putkiosuus	Kylmäaineen muoto putkessa
1 → 2	Korkeapaineinen neste
2 → 3	Osittain höyrystynyt matalapaineinen neste
3 → 4	Matalapaineinen höyry
4 → 1	Korkeapaineinen höyry

Höyrystimessä matalapaineinen ja lämpötilainen kylmäaine sitoo lämpöä ympäristöstä itseensä ja höyrystyy. Tämän jälkeen höyrystynyt kylmäaine imetään kompressorin, mikä puristaa kylmäaineen korkeampaan paineeseen. Puristuksen aikana kylmäaineen paine nousee ja sen lämpötila nousee merkittävästi. Kompressorin jälkeen korkeapaineinen ja lämpötilainen höyry johdetaan lauhduttimeen, jossa höyry jälleen tiivistyy

nesteeiksi eli lauhtuu, luovuttaen samalla lämpöä ympäristöön. Lauhduttimesta kylmäaine johdetaan paisuntalaitteelle, jossa nestemäisen kylmäaineen paine ja lämpötila laskevat ja osa siitä höyrystyy jo ennen höyrystintä. Tämän jälkeen kiertoprosessi alkaa taas alusta. [11, s. 17-18.]

Lämpöpumppu vaatii toimiakseen sähköenergiaa, mutta kiertoprosessin ansiosta järjestelmästä saadaan tavallisesti lämmitys- ja jäähdytystehoa moninkertaisesti syötettyyn sähkötehoon nähden. Tätä kutsutaan suorituskertoimeksi ($COP = \text{Coefficient Of Performance}$). Ilmalämpöpumpuissa esimerkiksi COP voi olla lämmityskäytössä yli 5, kun ulkolämpötila on $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tämä tarkoittaa siis, että kun järjestelmään syötetään 1 kW sähkötehoa, saadaan järjestelmän kautta 5 kW lämmitystehoa. Alhainen ulkoilman lämpötila heikentää suorituseroittoa, eikä ilmalämpöpumppua kannata mallikohtaisesti käyttää tiettyjen ulkoilman lämpötilojen alapuolella, mutta esimerkiksi kehittyneimmät ilmalämpöpumput kykenevät COP -lukemaan 2 vielä $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ pakkasillakin.

COP -lukemasta voi päätellä paljon lämpöpumpun tehokkuudesta, mutta pelkästään sitä ei tulisi tuijottaa lämpöpumppua hankkiessa, sillä COP -lukemat, mitä valmistajat monesti eniten mainostavat, ovat usein ilmoitettu $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ulkolämpötilassa, eivätkä näin anna välttämättä todellista kuvaa koko vuoden tilanteesta. On myös eri asia, kun puhutaan lämpöpumpun ja järjestelmän suorituskertoimesta, sillä järjestelmän COP ottaa huomioon myös muut sähköä käyttävät järjestelmän osat kuin pelkän lämpöpumpun.

On myös varmistettava, millä arvoilla ja standardeilla COP on ilmoitettu, sillä esimerkiksi vanha EN 255 –standardi antaa suuremmat COP -arvot kuin nykyinen EN 14511 –standardi.

Siksi onkin alettu mittaamaan myös kausisuorituseroittoa, $SCOP$ (Seasonal Coefficient of Performance). Tämä tunnetaan myös nimellä SPF (Seasonal Performance Factor), joka kertoo vuosihyötysuhteen.

$SCOP$ -luku ilmoitetaan standardin EN 14825 mukaisesti, jossa Eurooppa on jaettu kolmeen eri ilmastovyöhykkeeseen: Etelä-, Keski- ja Pohjois-Eurooppa. Suomessa käytetään luonnollisesti Pohjois-Euroopan vyöhykettä, joka perustuu Helsingin ilmasto-olosuhteisiin. $SCOP$:n myötä kuluttaja pystyy hahmottamaan tarkemmin laitteen toimintaa,

koska se on mitattu omassa ilmastovyöhykkeessä ja lukemia antava testauslaitos antaa vain yhden SCOP-lukeman, eli vääristyneet mainosten perusteella jääneet mielikuvat energiansäästöstä jäävät pois kuluttajilta ja markkinoille saadaan enemmän todenmukaisuutta. Koska SCOP-luku on vielä varsin tuore käsite, ne ovat vasta tekemässä tuloaan markkinoille valmistajilta. [18; 19.]

3.2 Yleistyminen

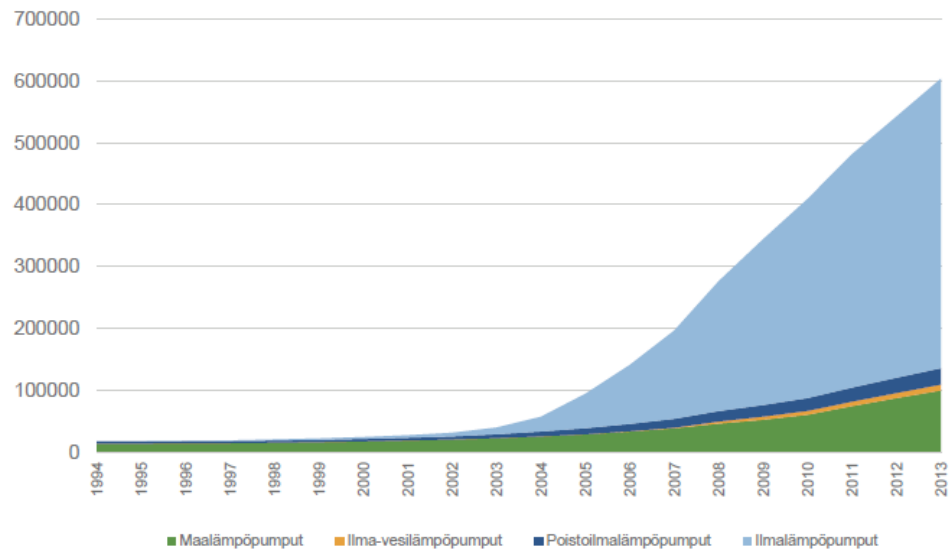
Suomeen on asennettu tällä hetkellä noin 650 000 lämpöpumppua ja niiden suosio on viime vuosina ollut jatkuvassa kasvussa. Määrä lisääntyy noin 60 000 lämpöpumpulla vuosittain.

Selitys suosiolle on investoinnin kannattavuus, sillä lämpöpumppu sopii uudis- että korjausrakentajalle. Lämmityskustannukset voivat pudota lämpöpumpusta riippuen 30-70 %, mitä ne olisivat esimerkiksi suorasähkö- tai öljylämmityksellä (lämmityksen hinta tilanteesta ja lämpöpumpusta riippuen 3-6 snt/kWh, kun taas suorasähkö- tai öljylämmityksellä hinta on noin 12-18 snt/kWh). Tällä saadaan nykytilanteella jo 10 - 20 % vuotuinen tuotto investoinnille ja lisäksi lämpöpumppu yleensä myös nostaa rakennuksen arvoa enemmän kuin mitä lämpöpumpun investointiin on rahaa käytetty. Lisäksi nykyiset 650 000 lämpöpumppua alentavat Suomen kokonaissähkönkulutusta yli 2 %.

Myös ihmisten kasvava huoli kasvihuoneilmiöstä ja ilmastonmuutoksesta on nostanut lämpöpumppujen suosiota, sillä lämpöpumpun avulla kotitalouden tavanomaisesta lämmöntuotannosta voidaan korvata yli 60 % uusiutuvalla energialla. [20.]

Käytössä olevat lämpöpumput

Lämpöpumppujen määrä on 35-kertaistunut 20 vuodessa



sulpu

KUVA 3. Suomessa käytössä olevat lämpöpumput 1994 - 2013 [21]

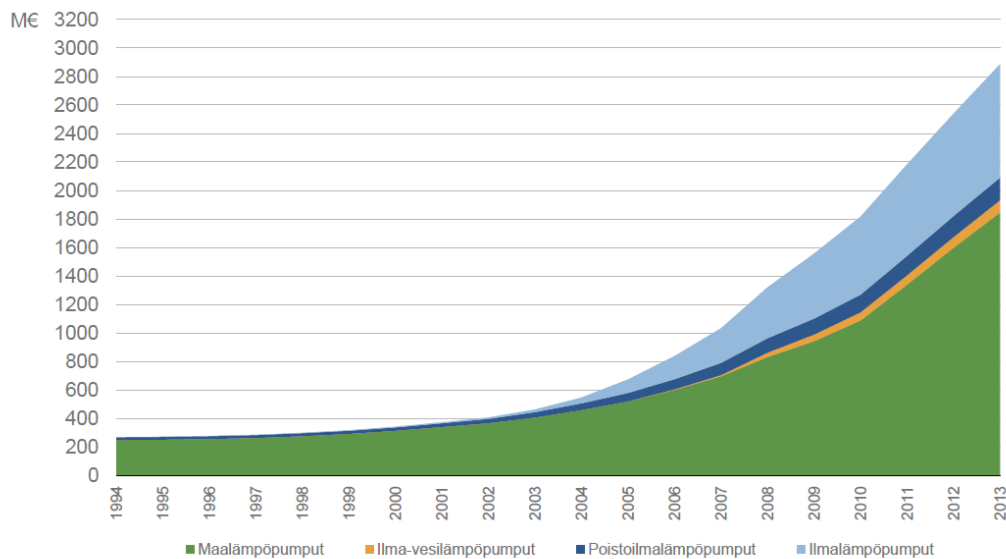
Kuvasta (3) nähdään, että lämpöpumppujen myynti on vuoden 2000 jälkeen kasvanut huomattavasti, jopa 35-kertaistunut 20 vuodessa. Ilmalämpöpumput ovat selvä markkinäkärki noin 78 % osuudellaan kokonaismäärästä.

Vaikka lämpöpumppujen suosio onkin Suomessa kasvanut viime vuosina voimakkaasti, niin säästettävissä on vielä paljon. Suomessa kulutetaan vuosittain 500 miljoonaa litraa polttoöljyä lämmitykseen ja sähkölämmitteisiä taloja on noin 700 000 kappaletta. Näissä rakennuksissa on suuri energiansäästöpotentiaali.

Mallia energiansäästöön voisi ottaa esimerkiksi Ruotsista, missä poistettiin polttoöljyn tuki eli veroluokka 20 vuotta sitten. Tämä lisäsi lämpöpumppujen suosiota voimakkaasti. Ruotsissa on käytössä noin 1,4 miljoonaa lämpöpumppua. Ruotsin miljardin litran vuosittainen öljynkulutus on lämpöpumppujen ansiosta poissa ja lisäksi lämmitys-sähkön kulutus on pudonnut noin puoleen entisestä. [40.]

Lämpöpumppuihin on investoitu 3 miljardia euroa

Maalämpö 1850 M€, ilma-vesi 90 M€, poistoilma 160 M€ ja ilmalämpö 800 M€



sulpu

KUVA 4. Lämpöpumppuihin investoitu raha 1994 - 2013 [21]

Kuvasta (4) ja taulukosta (2) nähdään tilastoja, joista käy ilmi vuosina 1994 - 2013 eri lämpöpumppumalleihin investoitu raha.

TAULUKKO 2. Keskimääräinen investointi kuluttajahinnoin vuonna 2013 [21]

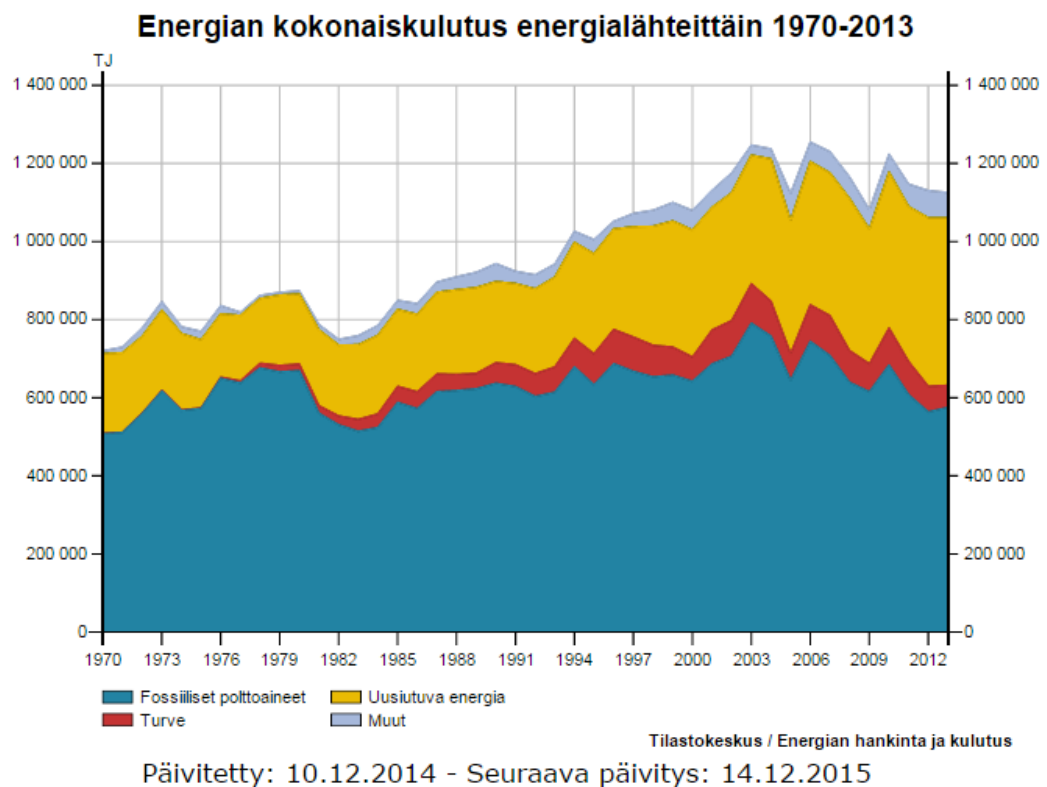
Lämpöpumppumalli	Investointi [€]
Maalämpöpumppu	20 000
Ilma-vesilämpöpumppu	11 000
Poistoilmalämpöpumppu	7000
Ilmalämpöpumppu	1800

Nähdään, että maalämpöpumppuihin on investoitu selvästi eniten, noin 63 %, vaikka ilmalämpöpumput ovat suurin ryhmä noin 78 % osuudellaan.

4 ENERGIA SUOMESSA

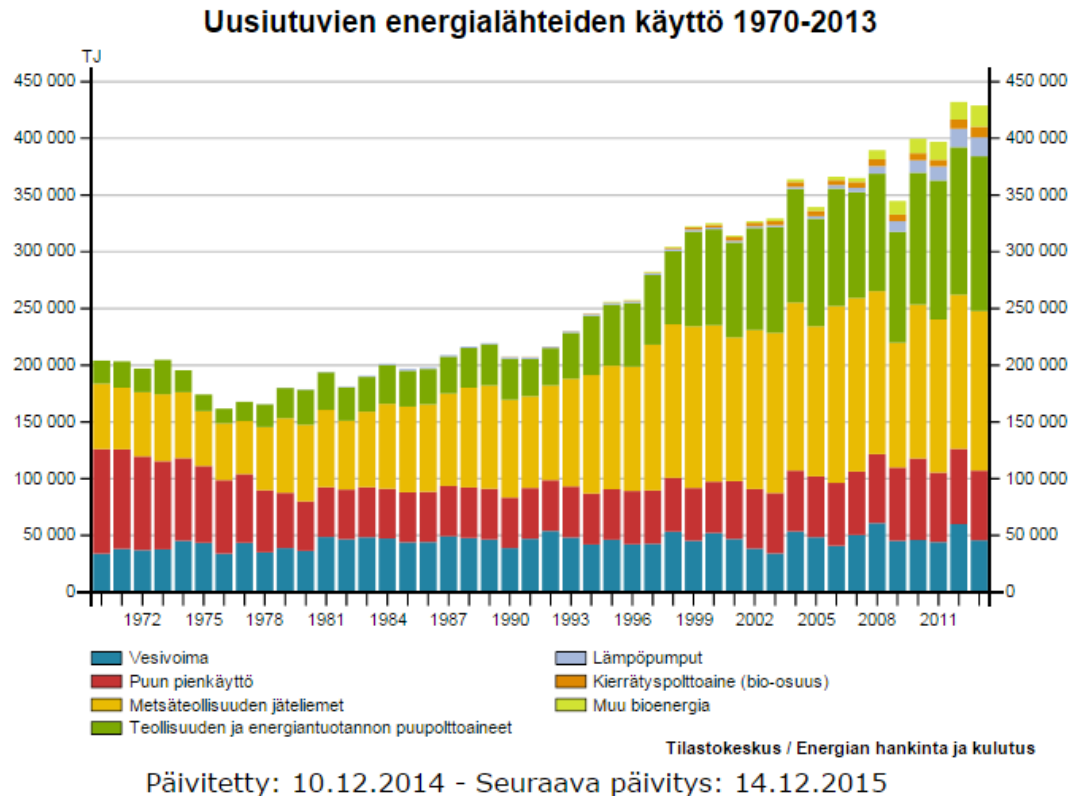
4.1 Yleistä

Vaikka Suomessa energiankäyttö verrattuna moniin muihin maihin on erittäin tehokasta, on Suomessa energiankulutus henkilöä kohden silti yksi maailman suurimpia. Syynä tähän ovat kylmät ilmasto-olosuhteet, energiavaltainen teollisuus, korkea elintaso ja harva asutus. [22.]



KUVA 5. Energian kokonaiskulutus Suomessa energialähteittäin 1970 - 2013 [22]

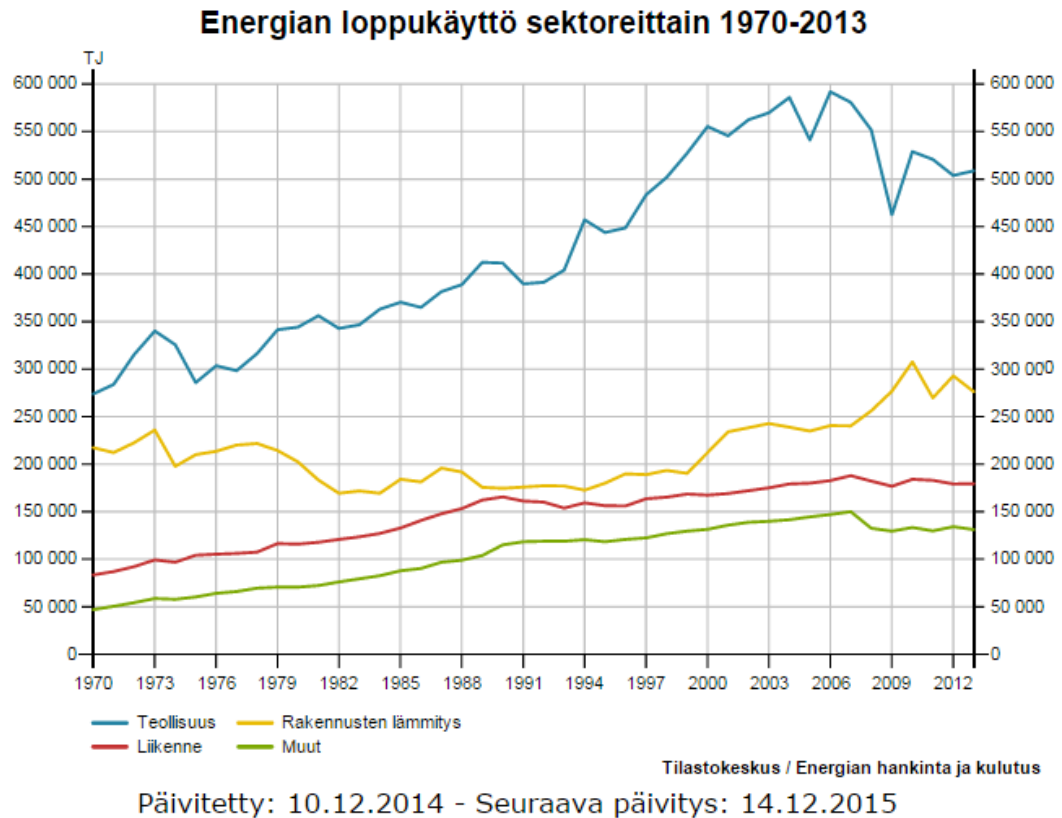
Suomen käytettiin energiaa vuonna 2013 yhteensä 1,37 miljoonaa terajoulea (TJ) (kuva 5). Sähköä käytettiin 84 terawattituntia (TWh). Primäärienergian kulutus on ollut tasaisessa kasvussa viimeiset vuosikymmenet energiakriiseistä ja säästötoimenpiteistä huolimatta. Energian hinnan nousu ja ympäristönsuojelutekijät ovat tehneet sen, että energiaa halutaan säästää ja käyttää mahdollisimman tehokkaasti. Siksi energiavaatimukset tiukentuvat jatkuvasti yrittäen vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja lisäten uusiutuvien energialähteiden käyttöä. [22.]



KUVA 6. Uusiutuvien energialähteiden käyttö Suomessa 1970 - 2013 [22]

Vuonna 2013 uusiutuvan energian osuus kokonaiskulutuksesta oli 31 %. Erityisesti metsähakkeen lisääntynyt käyttö nosti osuutta jopa 5 % vuoteen 2012 verrattuna. Uusiutuville energialähteille on yhteistä kestävä kehitys eli se, että niitä hyödynnettäessä kestäväällä tavalla niiden varanto ei vähene pitkälläkään aikavälillä. Vuoteen 2020 mennessä Suomen on tarkoitus nostaa uusiutuvien energialähteiden käyttö 38 % osuuteen kokonaisenergiankulutuksesta. Pääasiallinen tarkoitus tällä on vähentää kasvihuoneilmiötä kiihdyttävien kaasujen päästöjä sekä ehkäistä ilmastonmuutosta, mutta myös edistää bioenergian ja kotimaisen energian käyttöä, lisätä tutkimustyötä ja tuotekehitystä sekä edistää energiasektorin toimintaa. [22.]

Kuvaajasta (6) näkyy myös lämpöpumppujen kasvava osuus.



KUVA 7. Energian loppukäyttö Suomessa sektoreittain 1970 - 2013 [23]

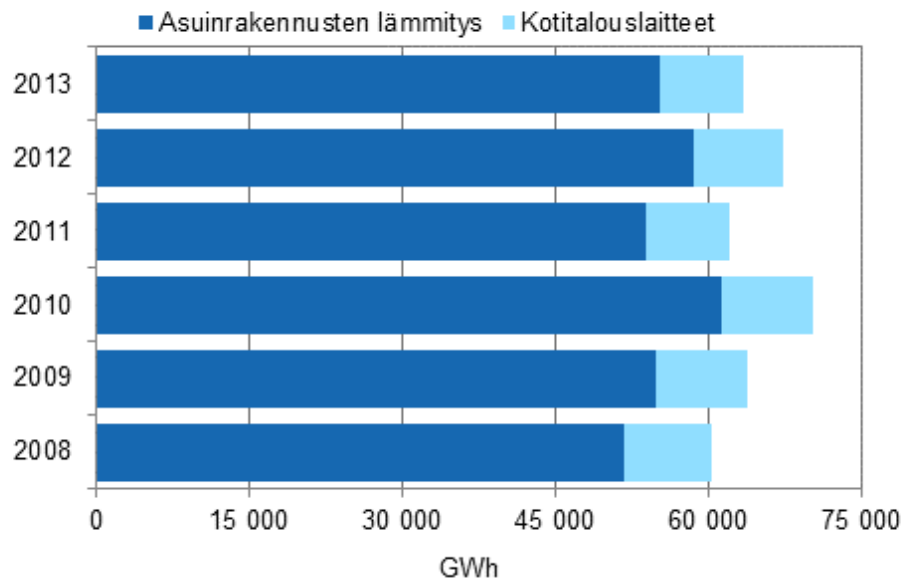
Energian loppukäyttö –kuvaaja (kuva 7) näyttää lämmön ja sähkönkulutuksen sekä rakennusten lämmitys-, liikenne- ja teollisuusprosessipolttoaineiden kulutuksen. Kokonaiskulutuksesta se eroaa siinä, että siitä on vähennetty energiansiirto- ja muuntohäviöt eli kuvaaja kuvaa yritysten, kotitalouksien ja muiden kuluttajien käyttöön jäävää energiamäärää. Kuvaajassa ne on jaettu teollisuuden, rakennusten lämmityksen, liikenteen ja muiden omille sektoreille. Muilla tarkoitetaan kotitalouksien, julkisen ja yksityisen palvelusektorin, maa- ja metsätalouden sekä rakennustoiminnan sähkön- ja polttoaineiden kulutusta. [23.]

4.2 Energiankäyttö rakennuksissa

Energiaa tarvitaan rakennuksissa lämmitykseen, jäähdytykseen, ilmanvaihtoon, lämpimään käyttöveteen ja sähkölaitteiden käyttöön. Kuten energian loppukäyttö –kuvaajasta nähtiin (kuva 7), on rakennusten lämmitys suuri kokonaisenergian loppukäyttäjä Suomessa noin 40 % osuudellaan. [23.]

Asumisen energiankulutus

Julkaistu: 14.11.2014

**KUVA 8. Asumisen energiankulutus Suomessa vuosina 2008 - 2013 [23]**

Suomessa käytettiin asumiseen vuonna 2013 energiaa yhteensä 63 427 GWh (kuva 8). Lämmin sää pudotti lämmitysenergian kulutusta noin 6 % ja sähkölaitteiden energian kulutusta noin 5 % vuoteen 2012 verrattuna, mikä selittyy muun muassa sillä, ettei autoja tarvinnut pitää niin paljoa lämmityksessä. [23.]

**TAULUKKO 3. Suosituimpien lämmitystapojen osuus lämmitysenergian kulu-
tuksesta [23]**

Lämmitystapa	Energiankulutus [GWh]	Osuus kaikesta läm- myksestä [%]
1. Kaukolämpö	18 311	33
2. Puulämmitys	14 502	26
3. Sähkölämmitys	13 233	24

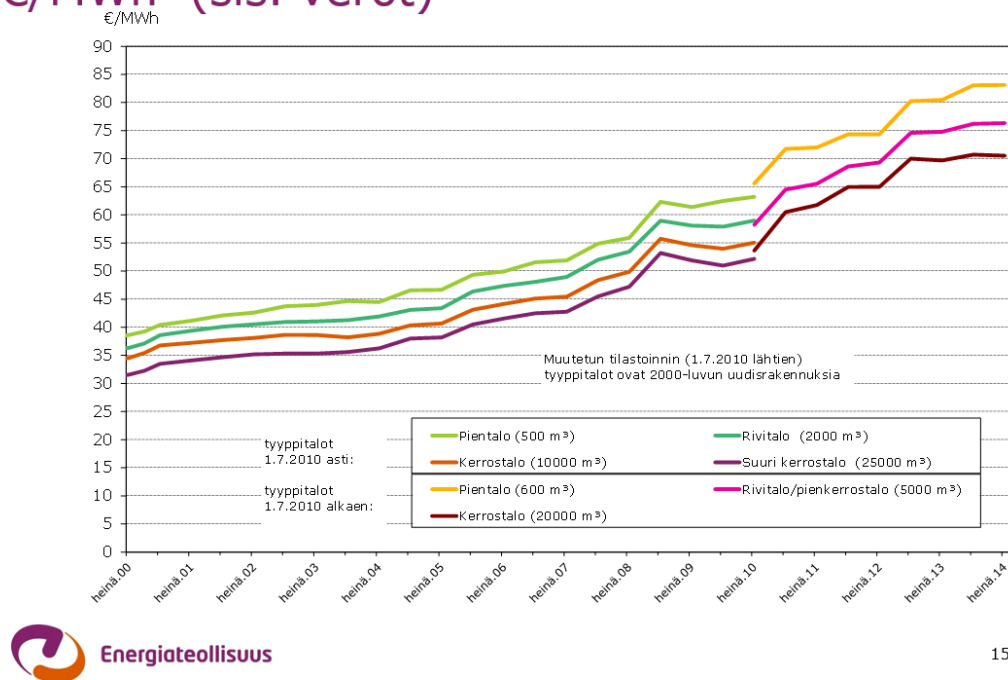
Asuinrakennusten lämmitykseen energiaa puolestaan kului 55 140 GWh vuonna 2013. Asumisen osuudeksi (kotitalouslaitteet, valaistus ym) energian loppukäytöstä jää keskimäärin noin 20 % osuus.

Taulukosta (3) nähdään, että kaukolämpö, puulämmitys ja sähkölämmitys olivat suosituimmat asuinrakennusten lämmitystavat Suomessa vuonna 2013 muodostaen 84 % asuinrakennusten lämmitysenergian kulutuksesta. Loppuun 16 % marginaaliin jäävät esimerkiksi öljy-, maakaasu-, turve-, kivihiili-, aurinko- ja muut lämmitysjärjestelmät. Sähkölämmityksen osuus tässä sisältää lämpöpumpuilla tehtävän lämmityksen. [23.]

4.3 Kaukolämmön hinta ja sen kehitys

Kaukolämmön hinnankehityskuvaajasta (kuva 9) nähdään, että kaukolämmön hinta on Suomessa lähes kokoajan kohonnut tasaisesti.

Kaukolämmön hinta, teho+energiamaksu €/MWh (sis. verot)

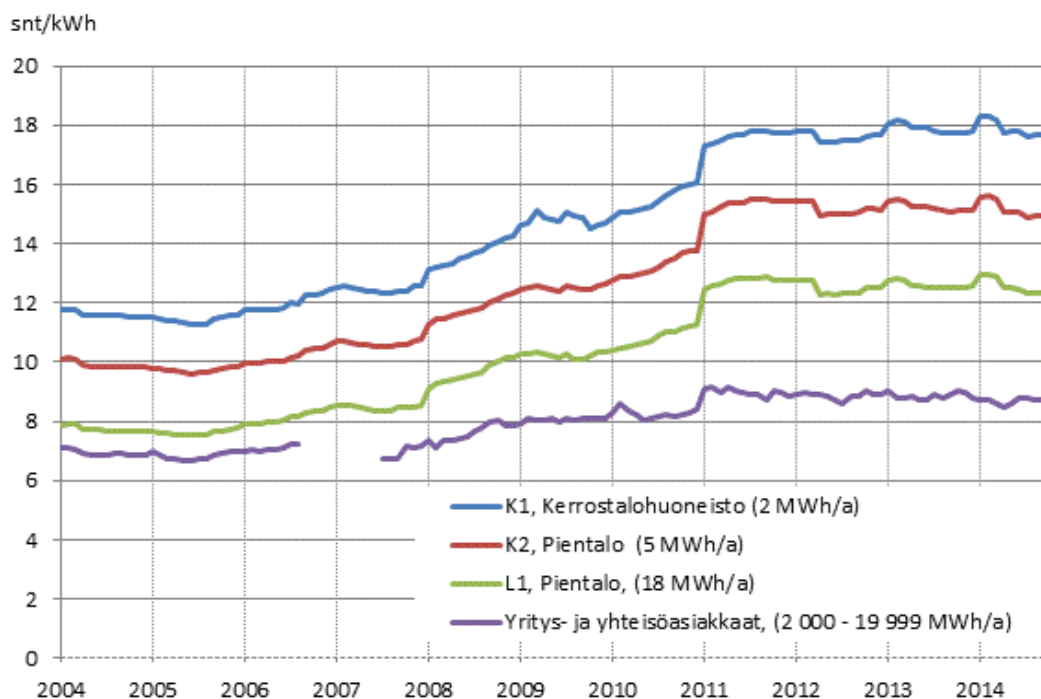


KUVA 9. Kaukolämmön hinnankehitys kuluttajatyypeittäin vuosina 2000 - 2014 [24]

Esimerkiksi kerrostalojen (10 000 m²) kohdalla tämä on tehnyt vuosina 2000 - 2010 vuositason noin 6 % keskimääräisen hinnannousun vuosittain (kuva 9). Vuonna 2014 kerrostalojen kohdalla kaukolämmön hinnaksi jäi keskimäärin 70 €/MWh. [24.]

4.4 Sähkön hinta ja sen kehitys

Sähkön hinnankelityskuvaajasta (kuva 10) nähdään, että sähkön hinta on vuosina 2011 - 2014 pysynyt lähes samana, mutta vuosina 2004 - 2011 se on ollut tasaisessa nousussa.



KUVA 10. Sähkön hinnankelitys kuluttajatyypeittäin vuosina 2004 - 2014 [23]

Vuonna 2011 toteutunut huomattava sähköveronnosto näkyy tilastoissa selvänä ko-
hoamisena (kuva 10). Esimerkiksi kerrostalohuoneiston kohdalla tämä on tehnyt vuo-
sina 2004 - 2014 keskimäärin noin 5 % vuotuisen hinnannousun. Vuonna 2014 kerros-
talojen kohdalla sähkön kokonaishinnaksi jäi keskimäärin 110 €/MWh. [23.]

4.5 Energian kulutus ja tarve

Veden kulutus rakennuksessa arvioidaan rakennustyyppin mukaan, ellei vedenkulutuksesta ole tarkempaa tietoa (kuva 11).

Veden- ja energian kulutustietoja		
Veden vuorokausikulutustietoja eräistä rakennustyypeistä		
Asuinkerrostalot	140 – 200 dm ³ /as.	keskim. 180 dm ³ /as.
Rivitalot	140 – 200 dm ³ /as.	keskim. 165 dm ³ /as.
Omakotitalot	100 – 150 dm ³ /as.	keskim. 120 dm ³ /as.
Koulut	60 – 100 dm ³ /oppilas	300 – 600 dm ³ /m ³
Sairaalat	950 – 1500 dm ³ /potilas	700 – 1100 dm ³ /m ³
Muut laitokset	280 – 470 dm ³ /as.	
Lämpimän käyttöveden osuus on keskimäärin 35–40 % kokonaiskulutuksesta. Vuoden ajalla kulutus painottuu loka-tammikuuhun ja on pienimmillään kesä-elokuussa. Suurin kuukausikulutus on n. 10 % ja pienin 5 % vuosikulutuksesta. On huomattava, että arvot ovat keskiarvoja useista rakennuksista.		
Lämpimän käyttöveden ominaiskulutuksia, D5 (2007)		
Asuinrakennus	600	dm ³ /brm ²
Toimistorakennus	100	"
Terveystenhoito	520	"
Päiväkot	460	"
Teatteri ja kirjasto	120	"
Uimahalli	1800	"
Opetus	180	"
Myymälä	54	"

KUVA 11. Veden kulutustietoja rakennustyypeittäin [43]

Esimerkiksi asuinrakennuksissa yleensä asukkaille on arvioitu tietty vuorokausikulutus (kuva 11). Lämpimän käyttöveden osuus kokonaisvedenkulutuksesta on noin 35 - 40 % ja se voidaan arvioida myös rakennuksen bruttoneliöiden perusteella. [43.]

Rakennuksen lämmitystehontarve lasketaan yleensä tilakohtaisesti, jolloin voidaan laskea tilassa tarvittava lämmitysteho ja mitoittaa ja valita tilakohtaiset lämmittimet. Rakennuksen lämmitystehontarve koostuu pääasiassa rakenteiden johtumislämpöhäviöistä, ilmavuodoista ja ilmanvaihdosta.

ENERGIA JA TEHONTARVE

Vanhojen rakennusten ominaislämmitystehoja

Tehot ovat mitoitustehoja lämmitettävää rakennustilavuutta kohden. Lukuarvot pätevät vuotta 2003 ennen tehdyille rakennuksille. Uudemmissa kulutukset ovat noin 15 % pienempiä.

Asuinrakennukset	mitoitusteho W/m ³
Uudemmat pientalot (1980-2003)	15 – 22
Vanhat pientalot (–1979)	22 – 30
Rivitalot	15 – 26
Vanhat asuinkeuhkotalot (–1979)	20 – 28
Uudemmat asuinkeuhkotalot (1980-2003)	13 – 18
Julkiset rakennukset	
Virastot	15 – 25
Sairaalat	23 – 40
Päiväkodit	20 – 25
Koulut	16 – 22
Teatterit	15 – 25
Kirkot, kirjastot, museot	16 – 20
Urheilutilat	20 – 30
Liikerakennukset	
Myymälät	18 – 22
Majoitusrakennukset	24 – 28
Ravintolat, kahvilat, yms.	24 – 28
Toimistot	24 – 26
Teollisuuslaitokset	15 – 25

Rakennuksen laitteiden ominais sähköenergiankulutusarvoja rakennustyypeittäin. D5 (2007)

Rakennustyyppi	Laitteiden sähkönkulutus yhteensä kWh/brm ² /vuosi	Valaistus-järjestelmä kWh/brm ² /vuosi	Ilmanvaihto-järjestelmä kWh/brm ² /vuosi	Muut laitteet kWh/brm ² /vuosi
Asuinkeuhkotalo	50	7	10	33
Rivitalo	50	7	7	36
Pientalo	50	7	7	36
Toimistorakennus	70	30	12	28
Opetusrakennus	60	23	12	25
Liikerakennus	80	48	17	15
Hotelli	110	60	17	33
Ravintola	110	42	36	32
Liikuntarakennus	180	60	41	79
Sairaala	100	60	28	12
Muut rakennukset	100	30	11	59

KUVA 12. Energia ja tehontarve vanhoille rakennuksille [43]

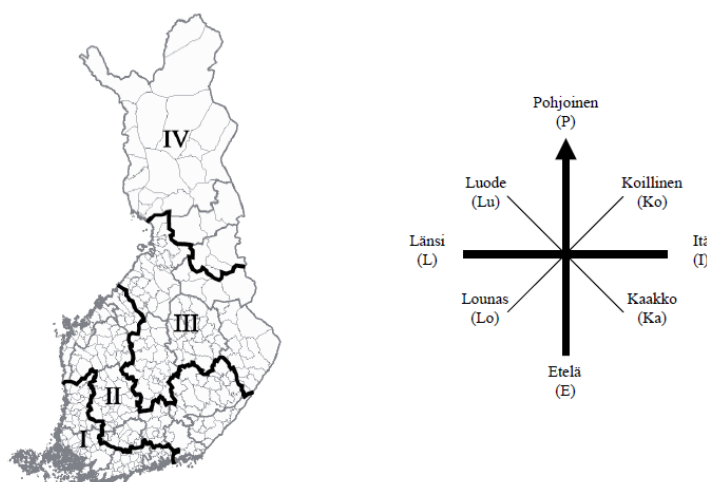
Tarkempiin lämmitystehontarpeiden laskemiseen ei tässä työssä perehdytä, sillä työ käsittelee pääosin vanhaa keuhkotalorakennuskantaa, josta ei yleensä ole tarkkoja lämmitystehontarvelaskentoja, vaan tehot joudutaan arvioimaan.

Ellei rakennuksesta ole tarkempia lämmitystehontarpeita tiedossa, voidaan lämmitystehontarvetta arvioida rakennuksessa esimerkiksi rakennustilavuuden ja iän kautta (kuva 12). Kuvassa näkyvät arvot ovat laadittu ennen 2003 valmistuneille rakennuksille, uudemmissa arvot ovat noin 15 % pienempiä. [43.]

Kuvasta käy myös ilmi eri rakennustyyppien vuotuisia sähkölaitteiden kokonais- ja yksityiskohtaisia energiankulutuksia, joita voidaan arvioida rakennuksen bruttoneliöiden mukaan.

4.6 Lämmitystarveluku

Lämmitystarveluvulla (tunnetaan myös terminä astepäiväluku) tarkoitetaan sisä- ja ulkolämpötilojen erotuksien ja tietyn ajanjakson tulon summaa. Sen avulla saadaan normeerattua toteutuneita lämmitysenergian kulutuksia, jotta voidaan verrata toisiinsa saman rakennuksen eri kuukausien tai vuosien kulutuksia ja eri kunnissa olevien rakennusten ominaiskulutuksia.



Kuva L2.1. Säävyöhykkeet.

Taulukko L2.1. Mitoittavat ja keskimääräiset ulkoilman lämpötilat eri säävyöhykkeillä.		
Säävyöhyke	Mitoittava ulkoilman lämpötila, °C	Vuoden keskimääräinen ulkoilman lämpötila, °C
I	-26	5,3
II	-29	4,6
III	-32	3,2
IV	-38	-0,4

KUVA 13. Säävyöhykkeet ja niiden ulkoilman lämpötilat [28, s. 29]

Lämmitystehontarve lasketaan paikkakunnan mitoittavalla ulkoilman lämpötilalla (kuva 13.) Kuvasta nähdään myös, että mitä enemmän pohjoiseen mennään, sitä kylmempi on mitoittava ulkoilman lämpötila ja vuoden keskimääräinen lämpötila.

Lämmitystarveluvut vertailukaudella 1981-2010

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Vuosi
Maarianhamina	592	567	551	406	216	34	3	17	135	308	432	542	3803
Vantaa	682	640	586	376	146	16	2	21	158	348	497	625	4097
Helsinki	647	612	566	383	153	11	1	12	125	316	464	588	3878
Pori	677	633	585	389	181	26	3	25	171	352	497	622	4161
Turku	663	625	575	377	161	19	2	18	149	338	486	608	4021
Tampere	724	675	612	400	176	28	5	34	192	382	529	667	4424
Lahti	726	677	610	395	159	20	4	31	191	383	528	668	4392
Lappeenranta	759	699	621	403	165	22	5	28	184	386	546	692	4510
Jyväskylä	785	721	646	440	206	40	10	56	227	414	569	718	4832
Vaasa	719	666	619	424	214	29	5	35	192	377	526	663	4469
Kuopio	812	741	653	445	198	31	7	38	194	400	571	735	4825
Joensuu	826	753	665	456	216	39	10	47	215	416	589	752	4984
Kajaani	864	777	695	479	251	57	17	75	245	441	618	785	5304
Oulu	824	742	677	465	249	47	9	55	224	423	593	749	5057
Sodankylä	946	838	760	548	345	106	49	136	316	523	722	891	6180
Ivalo	923	819	755	557	377	146	69	147	318	523	722	875	6231

Päivitetty viimeksi 20.1.2014 klo 8:13.

KUVA 14. Lämmitystarveluvut kuukausittain ja vuosittain 1981-2010 [42]

Lämmitystarveluvun käyttö rakennuksen lämmitystarpeen arvioinnissa perustuu siihen, että rakennuksen lämmitysenergian kulutus on lähes suoraan verrannollinen sisä- ja ulkolämpötilojen erotukseen. Lämmitystarveluku lasketaan kuukausittain Suomessa 16:lle paikkakunnalle (kuva 14). Kuvasta näkyy myös, kuinka lämmitystarveluvut loogisesti kasvavat mitä pohjoisempaa paikkakuntaa tarkastellaan ja kuinka kesäkuukausina lämmitystarveluvut ovat pienimmillään.

Lämmitystarveluku saadaan laskemalla yhteen kunkin kuukauden päivittäisten sisä- ja ulkolämpötilojen erotus. Yleisimmin käytetään lämmitystarvelukua S_{17} , joka lasketaan $+17^{\circ}\text{C}$ sisälämpötilaksi oletetun ja ulkolämpötilan vuorokausikeskiarvon erotuksen perusteella. Tällöin oletetaan, että lämpökuormat ja ilmaisenergiat nostavat sisälämpötilaa 3°C . Kuukauden lämmitystarveluku on vuorokautisten lämmitystarvelukujen summa ja vuoden lämmitystarveluku on vastaavasti kuukausittaisten lämmitystarvelukujen summa. Lämmitystarveluvun yksikkö on $^{\circ}\text{Cvrk}$. [42.]

Kuukauden keskilämpötila 2014 (°C)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Maarianhamina	-2,5	1,5	2,6	4,5	8,8	12,3	19,3	17,3	12,2	8,5	5,0	0,9
Vantaa	-7,4	-0,4	1,5	5,7	10,9	13,6	20,4	17,4	12,3	5,8	2,2	-1,3
Helsinki	-5,9	0,2	2,1	5,9	10,6	13,5	20,1	17,9	13,0	6,7	3,2	0,1
Pori	-7,6	0,5	2,2	4,9	10,6	13,1	20,1	17,1	11,6	6,5	2,3	-0,4
Turku	-6,9	0,4	2,1	5,4	10,5	13,6	20,2	17,5	12,2	6,9	2,9	-0,4
Tampere	-9,5	-0,5	1,0	4,6	10,1	12,6	19,6	16,2	10,9	5,2	1,5	-2,0
Lahti	-8,9	-0,7	0,7	4,7	10,3	12,8	19,2	16,1	10,5	4,5	1,3	-2,4
Lappeenranta	-9,5	-1,4	0,8	4,9	10,6	13,4	20,0	17,0	11,8	3,9	0,5	-2,5
Jyväskylä	-9,9	-1,2	0,5	3,7	9,5	12,3	19,0	15,4	9,7	2,8	0,1	-3,0
Vaasa	-8,2	0,0	1,3	4,3	9,5	12,6	19,8	16,3	11,3	4,8	0,9	-0,9
Kuopio	-10,2	-1,4	0,7	3,7	9,8	13,1	19,8	16,9	11,1	2,8	0,1	-3,5
Joensuu	-10,4	-1,9	0,1	3,1	9,6	13,1	19,3	16,5	10,6	1,7	-0,5	-4,3
Kajaani	-11,5	-1,8	-0,7	1,9	8,5	11,8	18,6	15,5	9,6	0,6	-1,7	-4,9
Oulu	-10,4	-1,3	-0,3	2,4	8,7	11,9	19,2	15,6	10,1	1,4	-1,2	-3,5
Sodankylä	-15,1	-4,0	-3,9	-0,2	5,4	10,6	18,3	13,9	7,6	-1,0	-5,7	-8,4
Ivalo	-14,3	-3,9	-4,1	0,0	4,4	10,1	16,9	13,4	7,5	-0,8	-7,1	-8,9

Päivitetty viimeksi 2.1.2015 klo 8:33.

KUVA 15. Kuukauden keskilämpötilat paikkakunnittain vuonna 2014 [42]

Esimerkiksi Maarianhamina 2014 tammikuussa tammikuun 2014 keskilämpötila oli -2,5 °C (kuva 15).

Vertailuarvona eli normaalivuoden lämmitystarvelukuna käytetään vuosien 1981-2010 keskimääristä lämmitystarvelukua.

Lämmitystarveluvun laskennassa ei oteta huomioon päiviä, joiden keskilämpötila on keväällä yli +10 °C ja syksyllä yli +12 °C. Laskentatavassa siis oletetaan, että kiinteistöjen lämmitys lopetetaan ja aloitetaan päivittäin ulkolämpötilan ylittäessä tai alittaessa mainitut rajat. Lämpötilahavaintojen puuttuessa vuorokauden keskilämpötilat interpoloidaan. [42.]

Lämmitystarveluvut 2014 (°Cvrk)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Vuosi
Maarianhamina	604	434	447	374	234	40	0	6	82	245	361	498	3325
Vantaa	756	487	479	304	182	27	0	5	82	343	445	568	3678
Helsinki	709	472	461	317	183	24	0	0	44	316	415	523	3464
Pori	762	461	459	356	193	41	6	0	102	320	442	539	3681
Turku	741	465	461	332	187	33	0	15	97	299	423	539	3592
Tampere	822	489	495	368	212	52	6	25	156	367	466	588	4046
Lahti	804	495	506	357	202	52	5	23	166	389	472	602	4073
Lappeenranta	822	515	503	340	197	35	0	13	114	406	495	606	4046
Jyväskylä	835	510	512	391	238	63	5	34	196	439	507	619	4349
Vaasa	782	476	487	382	207	42	5	19	111	377	482	556	3926
Kuopio	842	516	504	398	224	50	5	20	130	439	506	636	4270
Joensuu	850	528	523	416	236	65	6	21	159	474	525	662	4465
Kajaani	885	526	549	452	249	118	0	44	195	509	561	678	4766
Oulu	849	511	536	439	225	91	5	29	163	483	546	636	4513
Sodankylä	994	589	649	516	311	164	17	104	264	559	682	786	5635
Ivalo	970	585	654	509	363	181	23	116	262	552	722	803	5740

Päivitetty viimeksi 2.1.2015 klo 8:33.

KUVA 16. Lämmitystarveluvut kuukausittain vuonna 2014 [42]

Esimerkiksi Maarianhaminan lämmitystarveluku tammikuussa 2014 oli 604 °Cvrk (kuva 16). Tämä luku saadaan, kun lasketaan yhteen oletettu sisälämpötila 17 °C ja Maarianhaminan keskilämpötila tammikuussa 2014 eli 17 °C – (-2,5 °C) = 19,5 °C ja kerrotaan tämä lämpötila tammikuun vuorokausilla eli 19,5 °C * 31vrk = 604 °Cvrk.

Vuoden 2014 lämmitystarvelukujen pienistä arvoista (kuva 16) nähdään, että vuosi 2014 oli poikkeuksellisen lämmin koko maassa verrattuna vuosien 1980 - 2010 keskimääräisiin arvoihin. Esimerkiksi Maarianhaminassa on ollut heinäkuun keskimääräinen lämpötila +19,3 °C. Koska se on yli +17 °C, on heinäkuun lämmitystarveluku 0.

Lämmitysenergian kulutusta voidaan verrata lämmitystarveluvun avulla vertailukauden kulutukseen seuraavalla kaavalla [45]:

$$Q_{norm} = \frac{S_{Nvpkunta}}{S_{toteutunut\ vpkunta}} * Q_{toteutunut} + Q_{lkv} \quad (1)$$

Jossa:

Q_{norm} = Rakennuksen normitettu lämmitysenergiankulutus [kWh]

$Q_{\text{toteutunut}}$ = Rakennuksen tilojen lämmittämiseen kuluva energia [kWh]

Q_{lkv} = Rakennuksen käyttöveden lämmittämisen vaatima energia [kWh]

S_{Nvpkunta} = Normaalivuoden tai -kuukauden lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla [$^{\circ}\text{Cvrk}$]

$S_{\text{toteutunut vpkunta}}$ = Toteutunut lämmitystarveluku vuosi- tai kuukausitasolla vertailupaikkakunnalla [$^{\circ}\text{Cvrk}$]

Edellä olevaa kaavaa voidaan käyttää, kun halutaan verrata saman rakennuksen lämmitysenergiankulutusta eri ajankohtina. Laskettu arvo ei ole vertailukelpoinen muilla paikkakunnilla olevien rakennusten kulutuksiin ilman korjauskertoimien käyttöä. Normitus koskee vain rakennuksen lämmittämiseen kuluva energiaa, säästä riippumaton käyttöveden lämmittämiseen kuluva energia on ensin poistettava rakennuksen kokonaislämmitysenergiankulutuksesta seuraavalla kaavalla [45]:

$$Q_{\text{toteutunut}} = Q_{\text{kok}} - Q_{\text{lkv}} \quad (2)$$

Muuttujat tässä ovat samat kuin kaavassa (2), niiden lisäksi:

Q_{kok} = Rakennuksen kokonaislämmitysenergiankulutus [kWh]

Lämpimän käyttöveden vaatima energia voidaan laskea esimerkiksi seuraavalla kaavalla, jos sitä ei tiedetä [45]:

$$Q_{\text{lkv}} = \frac{\rho * c_p * V * (t_2 - t_1)}{3600} \quad (3)$$

Jossa:

Q_{lkv} = Rakennuksen käyttöveden lämmittämiseen vaatima energia [kWh]

ρ = Veden tiheys [1000 kg/m³]

c_p = Veden ominaislämpökapasiteetti [4,2 kJ/kg $^{\circ}\text{C}$]

V = Lämpimän käyttövedenkulutus [m³, voidaan arvioida kuvasta 11]

t_2 = Lämmitetyn veden lämpötila [tyypillisesti 55 $^{\circ}\text{C}$]

t_1 = Lämmitettävän veden lämpötila [tyypillisesti 5...10 $^{\circ}\text{C}$]

3600 = Yksikkömuunnoskerroin [kJ → kWh]

Jos halutaan verrata saman alueen rakennusten lämmitysenergiankulutuksia kuukausi- tai vuositasolla, tulee ne verrata vertailupaikkakuntaan. Jos taas halutaan verrata eri puolella Suomea olevien rakennusten lämmitysenergian kulutuksia, tulee ne verrata Jyväskylään, mikä on valtakunnallinen vertailupaikkakunta. Tämä onnistuu seuraavalla kaavalla [45]:

$$Q_{norm} = k * \frac{S_{Nvpkunta}}{S_{toteutunut\ vpkunta}} * Q_{toteutunut} + Q_{lkv} \quad (4)$$

Muuttujat ovat samat kuin kaavassa (2), niiden lisäksi:

k = Paikkakuntaakohtainen korjauskerroin vertailupaikkakuntaan (kuva 17).

1	Kunta	VERTAILUPAIKKA	JÄMFÖRELSEORT	COMPARISON_AREA	normaalivuoden lämmitystarveluku	K1	K2
2	Espoo	Helsinki, Kaisaniemi	Helsingfors	Helsinki	3878	0,96	1,2
3	Hanko	Helsinki, Kaisaniemi	Helsingfors	Helsinki	3878	1,02	1,26
4	Helsinki	Helsinki, Kaisaniemi	Helsingfors	Helsinki	3878	0,99	1,23
5	Inkoo	Helsinki, Kaisaniemi	Helsingfors	Helsinki	3878	0,98	1,22
6	Kauniainen	Helsinki, Kaisaniemi	Helsingfors	Helsinki	3878	0,97	1,21
7	Kirkkonummi	Helsinki, Kaisaniemi	Helsingfors	Helsinki	3878	0,97	1,21
8	Raasepori	Helsinki, Kaisaniemi	Helsingfors	Helsinki	3878	0,98	1,22
9	Hamina	Helsinki-Vantaa	Vanda	Vantaa	4097	0,96	1,13
10	Vantaa	Helsinki-Vantaa	Vanda	Vantaa	4097	1,01	1,18
11	Järvenpää	Helsinki-Vantaa	Vanda	Vantaa	4097	0,98	1,15
12	Kerava	Helsinki-Vantaa	Vanda	Vantaa	4097	0,99	1,17
13	Kotka	Helsinki-Vantaa	Vanda	Vantaa	4097	0,97	1,14
14	Lapinjärvi	Helsinki-Vantaa	Vanda	Vantaa	4097	0,96	1,13
15	Loviisa	Helsinki-Vantaa	Vanda	Vantaa	4097	0,97	1,14
16	Lohja	Helsinki-Vantaa	Vanda	Vantaa	4097	0,99	1,16
17	Nurmijärvi	Helsinki-Vantaa	Vanda	Vantaa	4097	0,97	1,14
18	Pornainen	Helsinki-Vantaa	Vanda	Vantaa	4097	0,97	1,14
19	Pyhtää	Helsinki-Vantaa	Vanda	Vantaa	4097	0,98	1,15
20	Porvoo	Helsinki-Vantaa	Vanda	Vantaa	4097	0,99	1,16
21	Sipoo	Helsinki-Vantaa	Vanda	Vantaa	4097	1	1,18
22	Siuntio	Helsinki-Vantaa	Vanda	Vantaa	4097	1,02	1,2
23	Tuusula	Helsinki-Vantaa	Vanda	Vantaa	4097	0,98	1,15
24	Vihti	Helsinki-Vantaa	Vanda	Vantaa	4097	0,96	1,13
25	Enontekiö	Ivalo	Ivalo	Ivalo	6231	0,91	0,71

■ ■ ■

KUVA 17. Paikkakuntaakohtaiset korjauskertoimet [45]

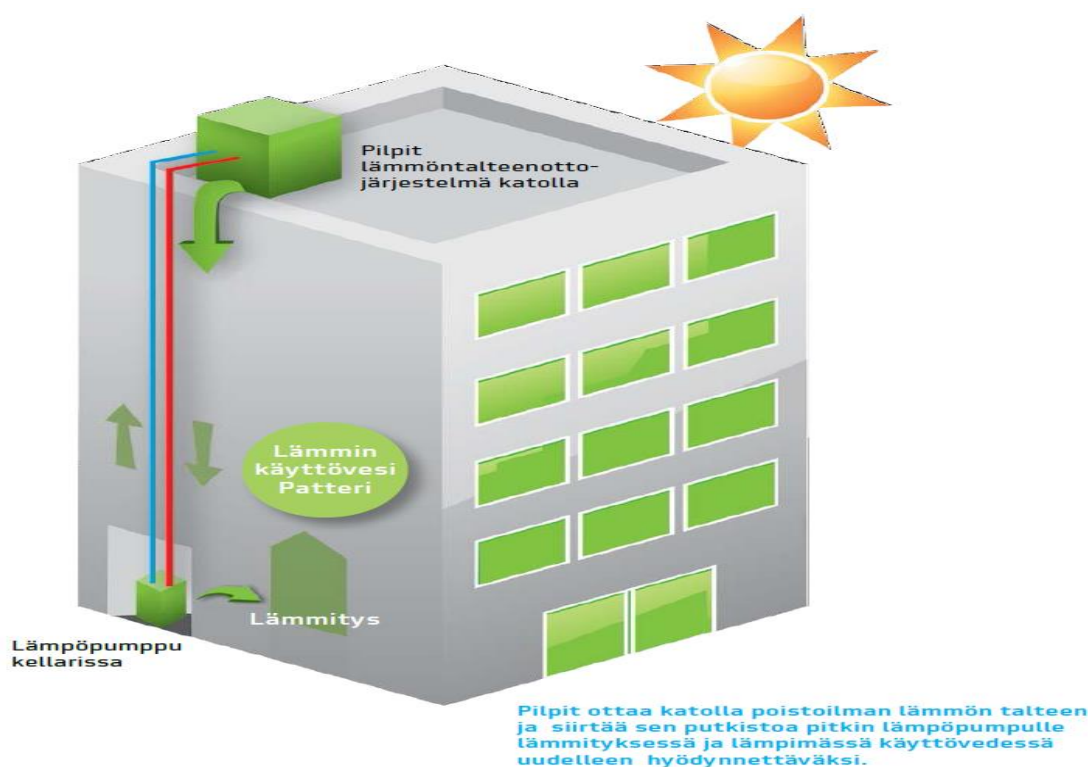
Kuvasta (17) nähdään esimerkkejä kuntakohtaisista korjauskertoimista, esimerkiksi Espoon vertailupaikkana on Helsinki, Kaisaniemi. Käytetään kuvan kohtaa k₁, jos halutaan verrata saman alueen rakennusten lämmitysenergian kulutuksia ja kohtaa k₂, jos halutaan verrata eri puolella Suomea olevien rakennusten lämmitysenergiankulutuksia verrattuna valtakunnalliseen vertailupaikkakuntaan (Jyväskylään). [45.]

5 POISTOILMALÄMPÖPUMPPU

5.1 Yleistä

Poistoilmalämpöpumppu on yksi peruslämpöpumppumalleista. Sitä on suosittu erityisesti Ruotsissa matalaenergiataloissa ja teoreettisesti se sopii parhaiten rakennuksiin, missä on pieni lämmitystarve, alhaiset lämmitysveden lämpötilat sekä suuri rakennustilavuus. Vaikka poistoilmalämpöpumpuilla pystytään tuottamaan tällaisissa kohteissa lähes kaikki rakennuksen lämmitystarve, tarvitaan mitoitusolosuhteiden kylmimmillä lämpötiloilla lisälämpöä, mikä hoituu esimerkiksi pientaloissa yleensä talon muulla lämmitysmuodolla, esimerkiksi sähkövastuksilla.

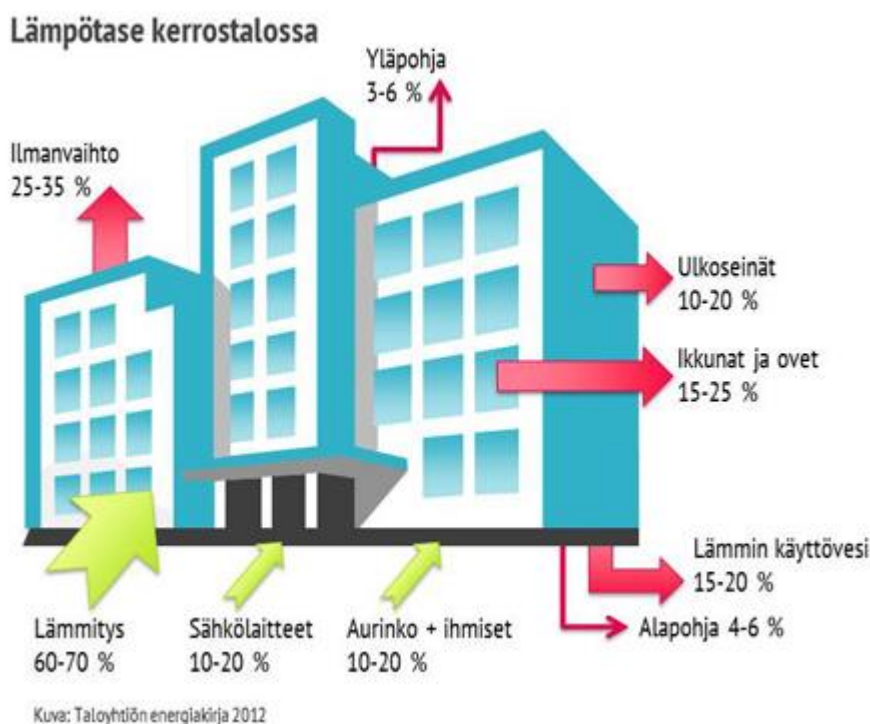
Poistoilmalämpöpumpulla voidaan hyödyntää rakennuksen poistoilman mukana poistuva lämpöenergia tehokkaasti uudestaan rakennuksen lämmitystarpeisiin, eli järjestelmä toimii lämmöntalteenottona. Koska poistettavan ilman lämpötila pysyy ympäri vuoden lähes vakiona, saadaan myös lämpöenergiaa tuotettua vakioteholla ulkolämpötilasta riippumatta. [1, s. 355.]



KUVA 18. Periaatekuva poistoilmalämpöpumpusta kerrostalossa [25]

Rakennusmääräysten mukaisesti asuintilojen ilman on vaihdettava kerran kahdessa tunnissa, mikä tekee suuren määrän lämpötilaltaan $+21 - 22^{\circ}\text{C}$ ilmaa poistettavaksi taloissa, joissa on pelkkä koneellinen poistoilmanvaihto. Tästä syystä vuosittain esimerkiksi kerrostalorakennuksista häviääkin ilmanvaihdon mukana jopa yli kolmannes lämmitysenergiasta (kuva 19). [27, s. 10.]

Myös Suomen rakennusmääräyskokoelma on antanut tästä syystä määräyksen, että uusimmissa kohteissa poistoilmasta on otettava lämpöä talteen lämpömäärä, mikä vastaa vähintään 45 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä (lämpöenergian pienentäminen voidaan tehdä myös rakennuksen lämmöneristystä tai rakennuksen vaipan ilmanpitävyyttä parantamalla tai vähentämällä ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemää lämpömäärää muulla tavalla kuin lämmöntalteenotolla). [28, s. 15.]



KUVA 19. Lämpötase kerrostalossa [26]

Koska esimerkiksi vanhemmissa kerrostaloissa ei vielä ollut kuin pelkkä koneellinen poistoilmanvaihto, on poistoilmalämpöpumppu jatkuvasti suosiotaan kasvattava vaihtoehto parantaa energiatehokkuutta tällaisissa kohteissa.

5.2 Toimintaperiaate

Kuten muissakin lämpöpumpuissa, myös poistoilmalämpöpumpuissakin pääosina toimivat kompressorin, lauhdutin, paisuntaventtiili ja höyrystimen. Höyrystimen tehtävä on kerätä poistoilmavirrasta lämpöä LTO-yksikön kautta lämmönkeruunesteeseen, mikä lämpöpumpussa saadaan lauhduttimen kautta siirrettyä talon lämmitysenergiantarpeisiin.

Mitä kylmemmäksi jäteilma voidaan LTO-yksikössä jäähdyttää, sitä enemmän lämpöenergiaa saadaan poistoilmalämpöpumpulla tuotettua ja sitä parempi lämpökerroin järjestelmällä saadaan.

Yleensä lauhduttimesta lämpö siirretään erillisen käyttöpiirin kautta lämmitys- ja käyttöveden lämmitystarpeisiin, mutta lämpöenergian voi siirtää myös suoraan näihin. Järjestelmällä tuotetaan yleensä lämpöenergiaa siihen kohtaan järjestelmää, jossa veden lämpötilalta ei vaadita niin korkeaa tasoa. [11, s. 17-18.]

Ihannetilanne olisi käyttää poistoilmalämpöpumppua esimerkiksi lattialämmityksen lämmitykseen sen matalien käyttölämpötilojen vuoksi (yleensä meno 35° C, paluu 30 °C), mutta vanhoissa kerrostaloissa mihin yleensä poistoilmalämpöpumppu asennetaan on yleensä radiaattorilämmitys korkeilla lämpötiloilla (yleensä meno 70° C, paluu 40 °C). [2, s. 389.]

Siksi vanhoissa kerrostaloissa onkin tavallista nostaa lämmityskaudella PILP-järjestelmän avulla paluuveden lämpötilaa ja lämmityskauden ulkopuolella käyttää lämmitysenergia käyttöveden lämmitykseen (vähintään 55 °C, maksimi 65 °C).

Poistoilmalämpöpumppujärjestelmä sopii käyttöveden lämmitystarpeisiin ja myös osaan rakennuksen lämmitystarpeista tiettyyn ulkolämpötilaan asti (yleensä -20...-10 °C), alemmilla lämpötiloilla tarvitaan lisälämmitystä. Tämän vuoksi poistoilmalämpöpumput osatehomitoitetaan tyypillisesti kattamaan 40-60 % mitoituslaskennan ja noin 60-80 % vuotuisesta lämmitysenergiantarpeesta sekä kytketään varsinaisen lämmitysmuodon rinnalle, esimerkiksi toimimaan yhdessä kaukolämmön kanssa. [29.]

5.3 Mallit

Yleisimmät suurehkojen rakennusten poistoilmalämpöpumppumallit ovat suora-höyrysteisellä lämmöntalteenotto-yksiköllä ja epäsuora-höyrysteisellä nestekiertoisella lämmöntalteenotto-yksiköllä varustetut mallit. [29.]

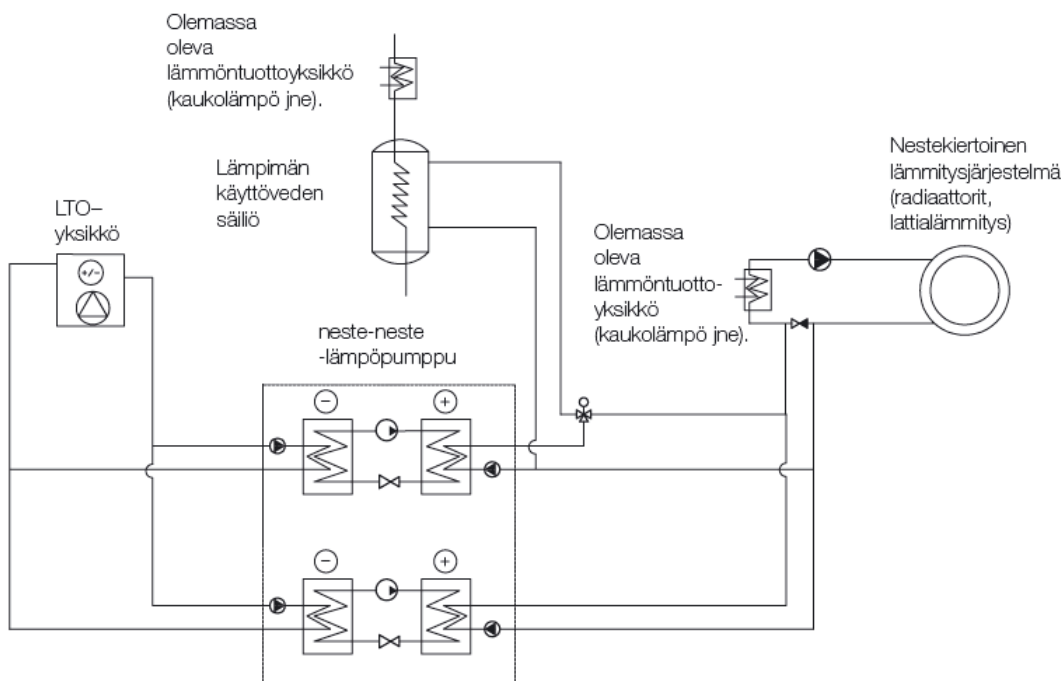


KUVA 20. Huippuimurin paikalle sijoitettu nestekiertoinen LTO-yksikkö [25]

Lämmöntalteenotto-yksikkö suurehkoissa kohteissa on yleensä sijoitettu ulos vesikatolle huippuimurin paikalle (kuva 20) tai ullakolle kammiopuhaltimen paikalle.

lämpöpumppuyksikkö sijaitsee lämmöntalteenotto-patterin yhteydessä, yleensä vesikatolla. Lämpöpumppuyksikön lauhduttimelta johdetaan putket lämmönjakohuoneeseen.

Lämmönsiirtonesteinä käytetään yleensä vesi-glykoliseosta, kun keruuputkisto vie lämmönjakohuoneesta katolle sisätiloissa, rappukäytävässä tai ullakolla. Jos keruuputkisto vie lämmönkatolle rakennuksen ulkoseinällä, neste toimii yleensä 30 % etanoli-vesiliuos. [29.]



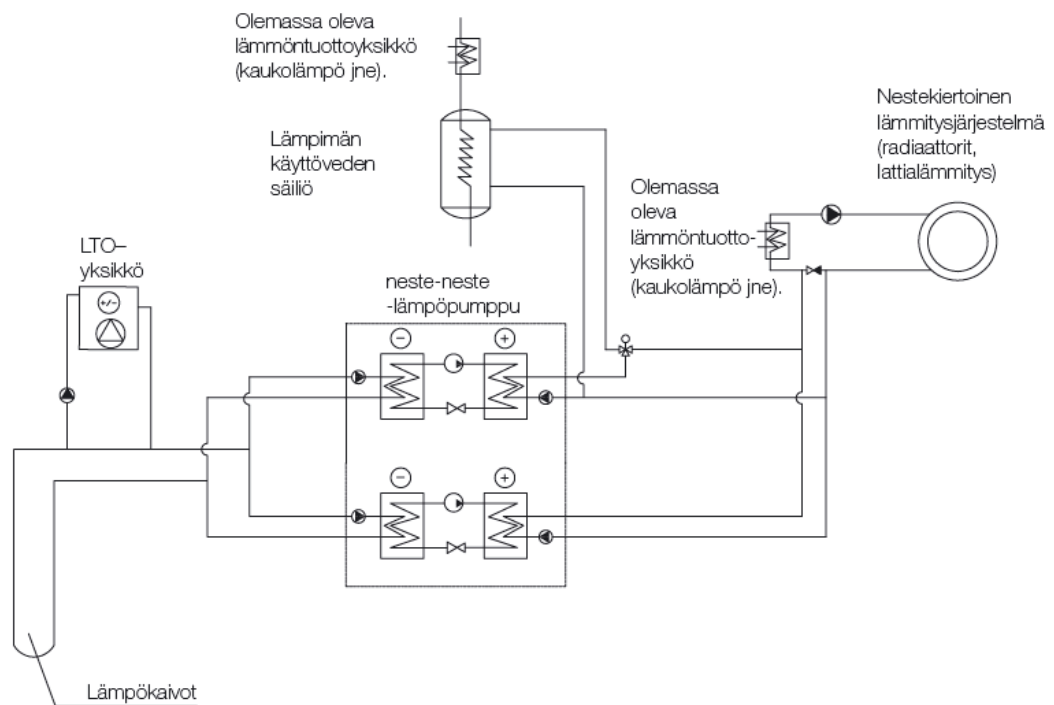
Epäsuoran PILP -järjestelmän toimintaperiaate.

KUVA 23. Poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate epäsuoralla höyrystyksellä [29]

Kuitenkin tehokkain tapa ottaa talteen poistoilmassa olevaa lämpöenergiaa poistoilmalämpöpumpulla on käyttää nestekiertoista lämmönsiirrintä poistoilmavirrassa eli epäsuoraa höyrystystä. Tässä mallissa lämpöpumppuyksikköä ei ole sijoitettu lämmöntalteenyksikön yhteyteen, vaan LTO-yksikkö on erillään itse lämpöpumppuyksiköstä. Yleensä LTO-yksikkö on sijoitettu katolle tai ullakolle ja lämpöpumppuyksikkö lämmönjakohuoneeseen, mitkä ovat toisiinsa yhteydessä nesteputkien välityksellä (kuva 23).

Tällä mahdollistetaan useiden rinnakkaisten poistoilmapuhaltimien (jos rakennuksessa useampi poistoilmapuhallin tai poistoilma-aukko) lämmöntalteenoton yhdistämisen samalle lämpöpumppuyksikölle ja poistoilmapatteristojen hallitun huurteeneston toteutuksen.

Myöhemmin järjestelmää voidaan laajentaa lisäämällä lämpöpumppuyksiköitä, aurinkopaneeleita tai lämpökaivoja. Tämä on ns. hybridiratkaisu (kuva 24), ja ne ovat erityisesti Ruotsissa yleisiä. Poistoilman lämmöntalteenotto toimii yhdessä aurinkopaneelien ja lämpökaivojen kanssa. [29.]



Hybridijärjestelmän toimintaperiaate.

KUVA 24. Hybridiratkaisu poistoilmalämpöpumpulla [29]

Lämmöntalteenotto poistoilmasta voidaan toteuttaa myös kytkemällä poistoilman lämmöntalteenotto-patterit sarjaan lämpökaivojen kanssa (kuva 24). Tämä nostaa lämmönkeruunesteen lämpötilaa ja siten myös lämpöpumpun suorituskerrointa (COP). Poistoilman lämmöntalteenotolla voidaan korvata osa lämpökaivoista ja niitä voidaan kesäaikaan ”ladata” poistoilman lämmitysenergialla, kun rakennuksessa ei ole tarvetta lämmitysenergialle. [29.]

5.4 Poistoilmalämpöpumpun etuja

Poistoilmalämpöpumpun suurin etu on energiansäästö, mikä esimerkiksi kerrostaloissa voi olla useita tuhansia euroja vuodessa. Energiaa huonelämpöisestä poistoilmasta saadaan hyödyksi vuosittain noin 60 - 70 %, mikä yleensä laskee rakennuksen lämmitysenergian tarvetta 30 - 50 %. Tämän aikaansaa hyvä hyötysuhde eli kausisuorituskerroin (SCOP), joka on yleensä välillä 2-4, eli esimerkiksi kausisuorituskertoimen ollessa 3 saadaan 1 kW sähköteholla 3 kW lämpötehoa aikaiseksi. Lisäksi PILP-järjestelmällä on kohtuullisen nopea takaisinmaksuaika, yleensä 5 - 10 vuotta, mutta on myös muita seikkoja mitä se parantaa. [29; 36.]

Pienemmissä rakennuksissa, joissa on tuloilmalla varustettu poistoilmalämpöpumppu, saadaan aikaan parempi sisäilmanlaatu ja jäähtytys kesäisin.

Jos talossa on ollut aiemmin pelkkä painovoimainen ilmanvaihto, saadaan ilma liikkumaan rakennuksessa tehokkaammin, mikä parantaa ilmanlaatua.

Jos talossa on ollut aiemmin yhteiskanavapoistopuhaltimella tai huippuimurilla toimiva poistoilmanvaihto, saadaan vanhan puhaltimen tilalle uusi nykyaikainen energiataloudellinen puhallin. [25.]

Poistoilmalämpöpumppu on edullinen ja nopea saneerausvaihtoehto, joka ei tarvitse yleensä kuin muutamien tuntien käyttökätkön lämmityksessä ja kahdesta kolmeen viikkoa töitä. Järjestelmän asennustyöt eivät juurikaan haittaa asukkaita, eikä järjestelmän kanssa ole huolta esimerkiksi maalämpöpumppuun verrattuna maalämpökaivojen ympäristövaikutuksista. [29.]

Järjestelmä säästää tilaa ja lämpöpumppuyksiköt ovat useasti liitettävissä automatiikkaan kaukohallinnan ja energiaraportoinnin kanssa. Lisäksi puhaltimen ohjausyksikkö voidaan sijoittaa esimerkiksi lämmönjakohuoneeseen, jolloin sitä voidaan ohjata etänä. [25.]

Kunnalta voi lisäksi saada energia-avustusta 15 % kokonaisurakan hinnasta ja lisäksi jos rakennus on kaukolämmön piirissä, voi poistoilmalämpöpumpun myötä energialaitoksen kanssa sopia kaukolämmön tilausvesivirran pienentämisestä, mikä myös tuo

kustannussäästöjä (jopa tuhansia euroja vuodessa) kerrostaloilla, kun kaukolämmön perusmaksut pienentyvät. [31.]

5.5 Huomioitavat asiat

Jäteilman jäähtymykseen on kiinnitettävä huomiota. Siinä rajoittava tekijä on höyrystimen huurtuminen, kun ollaan lähellä lämpötilaa 0 °C. Höyrystimen sulatus huurteesta tapahtuu pysäyttämällä kompressorin. Jäätymisen ehkäisemiseksi voi myös rakentaa shunttauksen liuospiiriin ennen LTO-patteria. Myös kostea poistoilma nostaa sulatustiheyttä, mistä syystä esimerkiksi kerrostaloissa ei voida jäähdyttää kerrostalon poistoilmaa alle lämpötilan 0 °C. [1, s. 355.]

Joissain rakennuksissa kanavat kulkevat kylmällä ullakolla, missä ne saatetaan joutua eristämään, jotta ilman lämpötila pysyy lämpötilassa +21 °C lämmöntalteenotto-ken-
nolle saakka. Toinen ongelma voi tulla, jos PILP-järjestelmää lähdetään asentamaan vanhaan rakennukseen, jossa on kivrakenteisia ilmanvaihtohormeja. Vanhat rakenn-
aineiset ilmanvaihtokanavat eivät välttämättä ole riittävän tiiviitä koneelliselle ilman-
vaihdolle. Tästä syystä joissakin kohteissa voi joutua muuttamaan kiviset ilmanvaihto-
kanavat peltisiksi kierresauma- tai suorakaidekanaviksi, mikä voi nostaa kustannuksia huomattavastikin.

Peruspoistoilmavirran täytyy olla tietyn suuruinen, jotta siitä saadaan otettua talteen lämmitysenergiaa tarpeeksi, esimerkiksi eräällä valmistajalla 400 l/s on minimisuositus kerrostalokäyttöön tarkoitettulle yksikölle. [25.]

Käyttöveden lämpötila täytyy saada vähintään 55 °C (max 65 °C) lämpötilaan, jottei käyttövedessä ala kasvamaan legionella-bakteeristoa, eli useasti käyttövettä pitää ”prii-
mata” jollain muulla lämmitysmuodolla PILP:n jälkeen, jotta 55 °C lämpötila saadaan saavutettua, sillä poistoilmalämpöpumpuilla ei käytännössä päästä kuin korkeintaan 50 - 65 °C lämpötiloihin. [32, s. 8.]

Poistoilmalämpöpumpun kytkentä kaukolämmön yhteyteen täytyy toteuttaa niin, ettei kytkentä huononna tarpeettomasti kaukolämpöveden olemassa olevaa jäähtymää. Kytken on oltava voimassa olevan ”K1, Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet” –julkaisun ja paikallisen energiayhtiön vaatimuksien mukainen. [33, s. 82.]

Lämmöntalteenotto-osalle on yleensä suodattimet, jotka vaativat säännöllistä vaihtoa ja uusi puhallin saattaa pitää suurempien kierrosnopeuksien vuoksi kovempaa ääntä kuin entinen, eli äänenvaimentimia voi joutua asentamaan, mikä lisää kustannuksia. Myös LTO-yksikön viemäröinnistä on huolehdittava, sillä LTO-patterin pinnoilta tiivistyy poistoilmaa jäähdytettäessä vettä jopa viisi litraa vuorokaudessa. [2, s. 382.]

Ilmanlaatu ei kuitenkaan usein juurikaan parane taloissa, joihin asennetaan poistoilmalämpöpumppu ilman tuloilmaa (saattaa parantua, jos ilmavirrat asunnoissa säädetään uudestaan, mikä tuo lisää ilmanvaihtuvuutta ja venttiilit ja kanavistot nuohotaan uuden puhaltimen myötä).

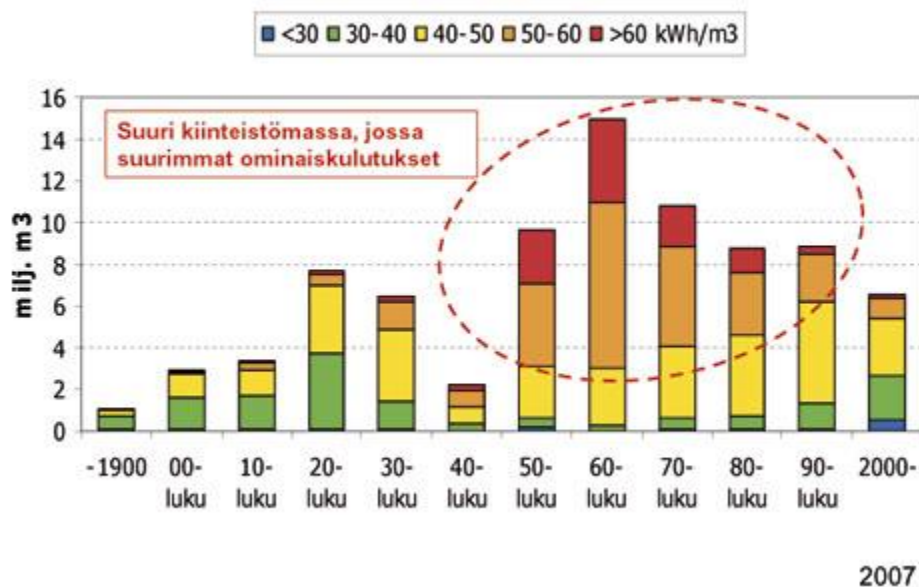
Myös rakennuksen virransyötön riittävyys ja sulakekoot poistoilmalämpöpumpun tarvitsemalle virranotolle on varmistettava ja on huomioitava, että poistoilmalämpöpumppu nostaa rakennuksen sähkönkulutusta huomattavasti.

Esteettisiä näkökulmia on myös syytä miettiä, sillä kaikilla alueilla ei ole esimerkiksi suotavaa vetää rakennuksen ulkonäköä rumentavia lämmönkeruuputkia julkisivuseinällä ylös katolle. Myös rappukäytävässä vedettävät putket voivat olla ulkonäkö- tai ehkä enemmänkin tilankäyttökysymys.

5.6 Sopivuus erilaisiin kohteisiin

1950 - 1970 –luvun kerrostaloissa on suurin ominaisenergiankulutus (kuva 25), eli erityisesti näissä on suuri energiansäästöpotentiaali.

Helsingin Energian kaukolämmitykseen liitettyjen asuintalojen ominaiskulutus



KUVA 25. Kerrostalojen ominaiskulutukset vuosikymmenittäin 1900 - 2000 [35]

Vanhemmat talot ovat rungoiltaan massiivisempia ja uudemmissa lämmönseristävyyttä on parannettu paremmilla eristeillä ja ikkunoilla. Lisäksi yleensä 1950 - 1970 –luvun rakennukset sijaitsevat kaupunkien keskustojen ulkopuolilla, joten niissä on ulkoseinien osuus suurempi kuin ”toisiinsa kytketyissä” rakennuksissa. Näissä on alettu myös käyttää koneellista poistoilmanvaihtoa, joka on myös suuri energiankuluttaja (kuva 25). [34.]

5.7 Mitoitus

Poistoilmalämpöpumput mitoitetaan aina osatehomitoituksena, eli sillä ei pyritä kattamaan kaikkea rakennuksen lämmitysenergian tarvetta, koska poistoilman lämpöenergia ei riitä yleensä kattamaan koko rakennuksen tehontarpeita ja lisäksi esimerkiksi kerrostaloissa ei jäteilmaa (yleensä 21 - 22 °C) voida jäähdyttää alle lämpötilan 0 °C lämmöntalteenotto-patterin jäätymisen vuoksi ja se huonontaa hyötysuhdetta. [1, s. 355.]

Lämmöntalteenottokapasiteettia voidaan arvioida kaavalla [12, s. 634].

$$\phi = qv * c_p * \rho * \Delta t \quad (4)$$

Jossa:

ϕ = Teho [kW]

qv = Poistoilmavirta [m^3/s]

c_p = Ilman ominaislämpökapasiteetti [kJ/kgK]

ρ = Ilman tiheys [kg/m^3]

Δt = Ilman lämpötilaero, paljon poistoilmavirtaa voidaan jäähdyttää [K]

$$\rightarrow \phi = 1,4 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 1,0 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * (22 - 0) \text{ K}$$

$$\rightarrow \phi = 36,96 \text{ kW}$$

Energiamäärä vuodessa saadaan kertomalla teho vuoden tunneilla

$$\rightarrow 36,96 \text{ kW} * 8760 \text{ h/vuosi} = \sim 323770 \text{ kWh/vuosi} = \sim 324 \text{ MWh/vuosi.}$$

Tästä energiamäärästä saadaan poistoilmalämpöpumpulla otettua noin 60 - 70 % lämpöä talteen. Kun kerrotaan 324 MWh/vuosi vielä arvolla 0,7 niin saadaan noin 227 MWh siksi lämpöenergiaksi, joka järjestelmällä voidaan ottaa vuodessa lämpöä talteen poistoilmavirrasta. Tehon avulla voidaan valita sopivat laitteet ja kaavaa (4) soveltamalla saadaan myös tehon kautta lämmönkeruunesteelle ja vedelle tarvittavat tilavuusvirrat, joilla saadaan mitoitettua PILP-järjestelmän eri osien väliset putkistot ja niiden varusteet. [36.]

Toinen tapa arvioida poistoilmasta saatavaa lämpötehoa on kertoa poistoilmavirta [m^3/s] 20 kW:lla. Eli esimerkiksi poistoilmavirran ollessa 1,4 m^3/s :

$$\rightarrow 1,4 \text{ m}^3/\text{s} * 20 \text{ kW} = 28 \text{ kW.}$$

$$\rightarrow 28 \text{ kW} * 8760 \text{ h/vuosi} = 245280 \text{ kWh/vuosi} = \sim 245 \text{ MWh/vuosi.}$$

Tämä toteutuu poistoilmavirran ollessa lämpötilassa 22 °C ja keruupiirin nesteen lämpötiloilla +2 °C/+ 7 °C. [29]

Näissä arviointitavoissa on noin 7 % ero (18 MWh), joten molemmat sopivat lämpötehon arviointiin suuntaa-antavina.

Lämmön ja parhaan hyötysuhteen takaamiseksi PILP-järjestelmä asennetaan jonkun toisen, yleensä jo olemassa olevan lämmitysjärjestelmän rinnalle. Siksi järjestelmä mitoitetaan yleensä rakennuksen poistoilman tilavuusvirran mukaisesti osatehomitoituksena, ei siis talon kokonaislämmöntarpeen mukaisesti. [29.]

Järjestelmä tulisi aina mitoittaa suuren tehon sijaan mahdollisimman suurelle suorituskertomelle, jolloin se kestää myös primäärienergiatarkastelun, eli energiamuotojen kertoimilla lasketun lämmitysenergian kulutuksen (esimerkiksi rakennuksen E-lukua laskehtaessa). [29.]

Mitoitusta, rakennukseen soveltuvuutta, takaisinmaksuaikaa ja energiansäästömahdollisuuksia varten on tiedettävä seuraavia asioita:

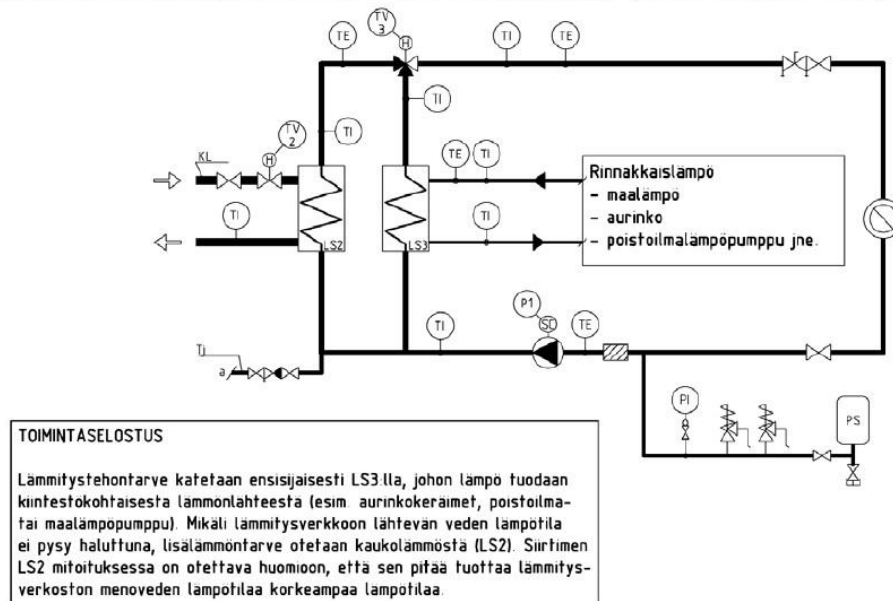
- Poistoilmavirta (tai pinta-alat ja ilmatilavuus, joiden kautta poistoilmavirta voidaan laskea).
- Lämmitysenergian, käyttöveden ja sähkönkulutus sekä näiden hinnat (tai rakennuksen lämmitetty pinta-ala, käytettävä säävyöhyke ja asukasmäärä, joiden kautta nämä voidaan arvioida)
- Energian hintojen kehitys.
- Poistoilmalämpöpumpun kokonaishinta sähkö- ja putkiasennuksineen käyttöönotettuna ja viritettynä.
- Onko jotain muita lisämenoeriä tuovia tekijöitä; esimerkiksi liian pieni sähkönsyöttö mikä olisi vaihdettava suurempaan, kanavien eristystöitä ullakolla, palo-osastoja mitä joudutaan puhkomaan putkilla, peitekourut ulkoseinällä kulkeville putkille, viemäröinnin rakentaminen LTO-yksikölle, rakennusautomaatioon liittämistä tai muuta vastaavaa.

5.8 KytKentämallit

Koska rakennusten lämmitysmuotoja ja poistoilmalämpöpumpumalleja on monia, on myös kytKentämalleja ja –tapojakin useita. Peruseriaate kytKennässä on kuitenkin aina sama: pyritään siirtämään poistoilmasta saatava lämpö rakennuksen lämmitystarpeisiin, kytKemällä PILP-järjestelmä rakennuksen varsinaisen lämmitysjärjestelmän rinnalle.

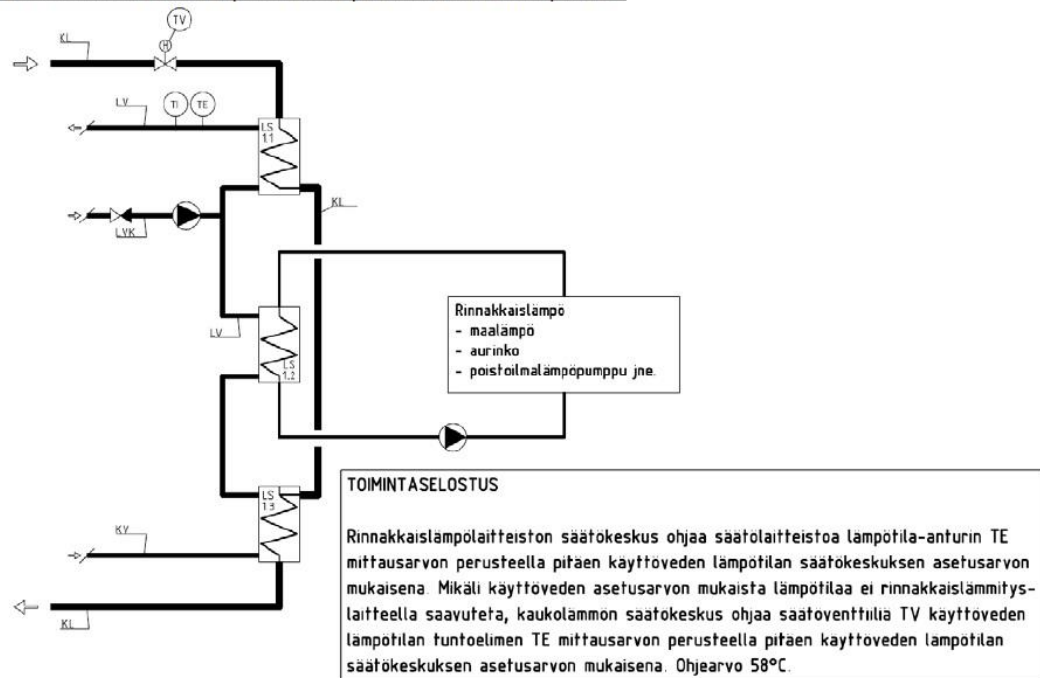
KytKentä on tehokkainta tehdä siten, että poistoilmalämpöpumpusta saadaan kokoajan täydellä teholla lämmitysenergiaa hyödynnettyä, eikä sitä tarvitse rajoittaa tarpeettomasti. Tämä onnistuu esimerkiksi ohjaamalla lämpöpumpulta saatava lämpöenergia ensisijaisesti rakennuksen lämmitysverkoston tarpeisiin ja toissijaisesti käyttöveden lämmitystarpeisiin. Kesäkuukausina kun rakennuksen lämmitysverkosto ei tarvitse niin paljoa lämmitysenergiaa, saadaan lämmitysenergia ohjattua käyttöveden lämmitykseen. Tämän kytKentätavan toimintaa voi tehostaa esimerkiksi eristetyillä varaajilla, mitä ladataan poistoilmalämpöpumpun lauhdevedellä ja erilaisilla hybridi-ratkaisuilla liittämällä poistoilmalämpöpumpun rinnalle esimerkiksi aurinkokeräimiä.

Koska opinnäytetyö käsittelee poistoilmalämpöpumppua kerrostaloissa, joissa kaukolämpö on yleisin lämmitysmuoto, käsitellään myös kaukolämpösiirtimeen tulevia kytKentöjä. ”K1, Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet” –julkaisun mukaisesti kytKentä tulee toteuttaa niin, ettei kytKentä huononna tarpeettomasti kaukolämpöveden jäähtymää. Lisäksi kytKennän on oltava K1:n ja paikallisen energiayhtiön vaatimuksien ja ohjeiden mukainen. [33, s. 82.]

Rinnakkaislämmön (rakennuskohtaisen lämmönlähteen) kytKentä tilojen lämmitykseen**KUVA 26. Poistoilmalämpöpumpun kytKentä tilojen lämmitykseen [33]**

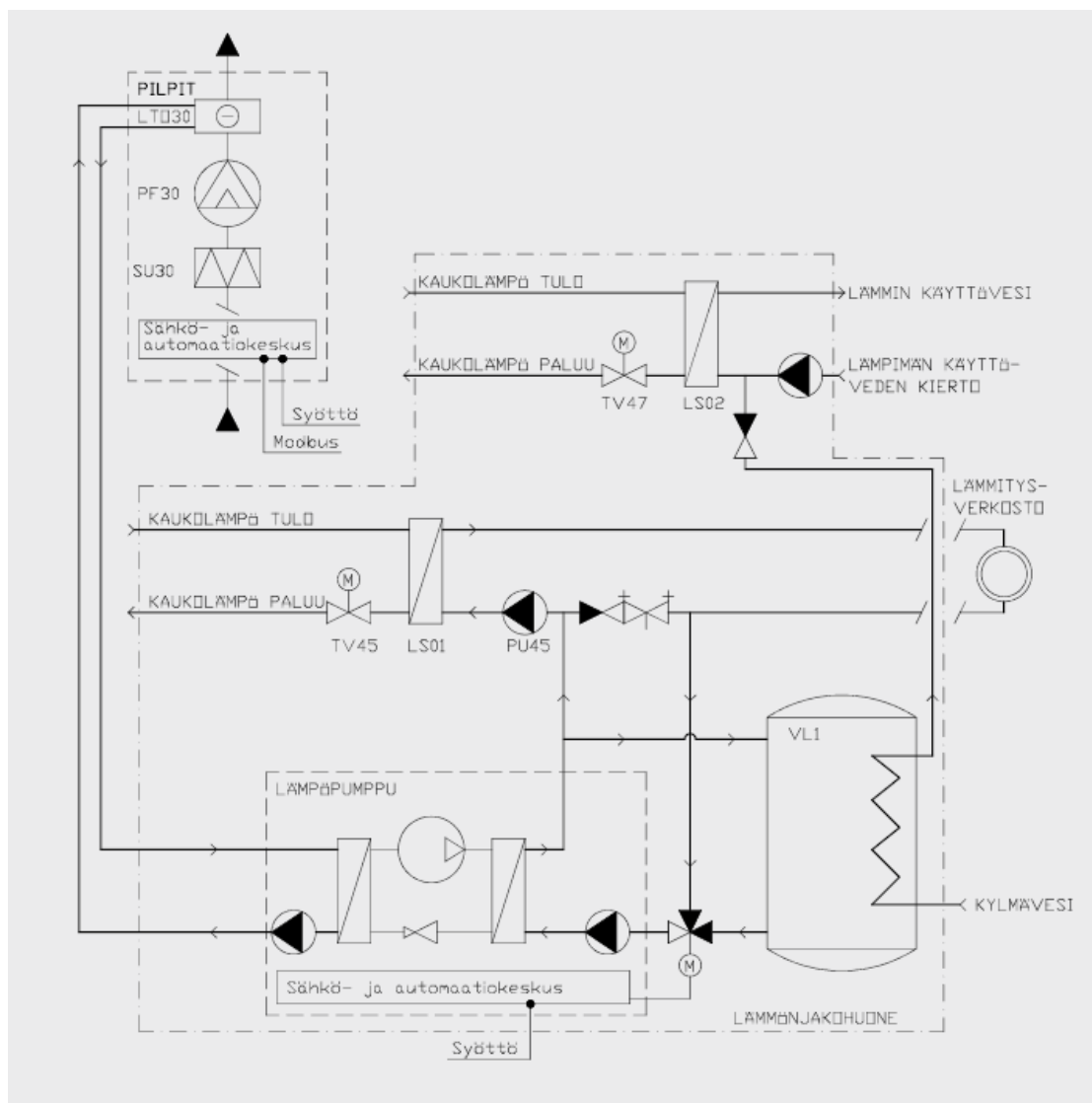
Kuvassa 26 on esitetty rinnakkaislämmön (PILP) kytKentä tilojen lämmitykseen kaukolämpösiirtimessä. Kuvan toimintaselostuksen mukaisesti poistoilmalämpöpumpulta lämmitysverkkoon lähtevää vettä ”priimataan” kolmitieventtiilillä toiselta lämmönsiirtimeltä, jos se ei ole riittävän lämmintä. [32, s. 8.]

Rinnakkaislämmön kytkentä käyttöveden lämmitykseen



KUVA 27. Poistoilmalämpöpumpun kytkentä käyttöveden lämmitykseen [33]

Kuvassa 27 on esitetty rinnakkaislämmön (PILP) kytkentä käyttöveden lämmitykseen kaukolämpösiirtimessä. Poistoilmalämpöpumppu lämmittää taloon tulevaa kylmää vettä (yleensä 10 °C → 58 °C) ja useasti käyttövesi pitää vielä ”priimata” kaukolämmön käyttövesisiirtimellä, jotta siitä saadaan oikean lämpöistä legionella-bakteerikasvun välttämiseksi (55-65 °C, ohjearvo 58 °C). [32, s. 8.]



KUVA 28. Poistoilmalämpöpumpun kytkentä käyttöveden ja tilojen lämmitykseen [25]

Kuvassa 28 on esitetty poistoilmalämpöpumpun kytkentä käyttöveden ja tilojen lämmitykseen kaukolämpösiirtimessä. PILP-järjestelmä lämmittää ensisijaisesti tilojen lämmityspiirin paluupuolta, jolloin ei tarvita niin paljon kaukolämpötehoa. Kesäkuukausina, kun tilojen lämmitystehoa ei tarvita niin paljon, lämmin vesi PILP:ltä ohjataan varaajaan. Varaajan kautta kulkeva kylmävesi priimataan sopivan lämpöiseksi käyttövesisiirtimessä, ennen kuin se lähtee kuluttajille. Varaaja ja shunttaus tuo myös mahdollisimman suuren jäähtymän PILP:lle palaavalle vedelle, mikä parantaa PILP:n hyötysuhdetta. Tämä on suositeltava kytkentätapa, sillä kytkentä mahdollistaa PILP-järjestelmän mahdollisimman tehokkaan käytön ympäri vuoden. [32, s. 8.]

6 ESIMERKKIKOHDE: AS OY KAUPPAKATU 9

6.1 Perustiedot

Taloyhtiön nimi: As Oy Kauppakatu 9

Osoite: Kauppakatu 9, 40100 Jyväskylä



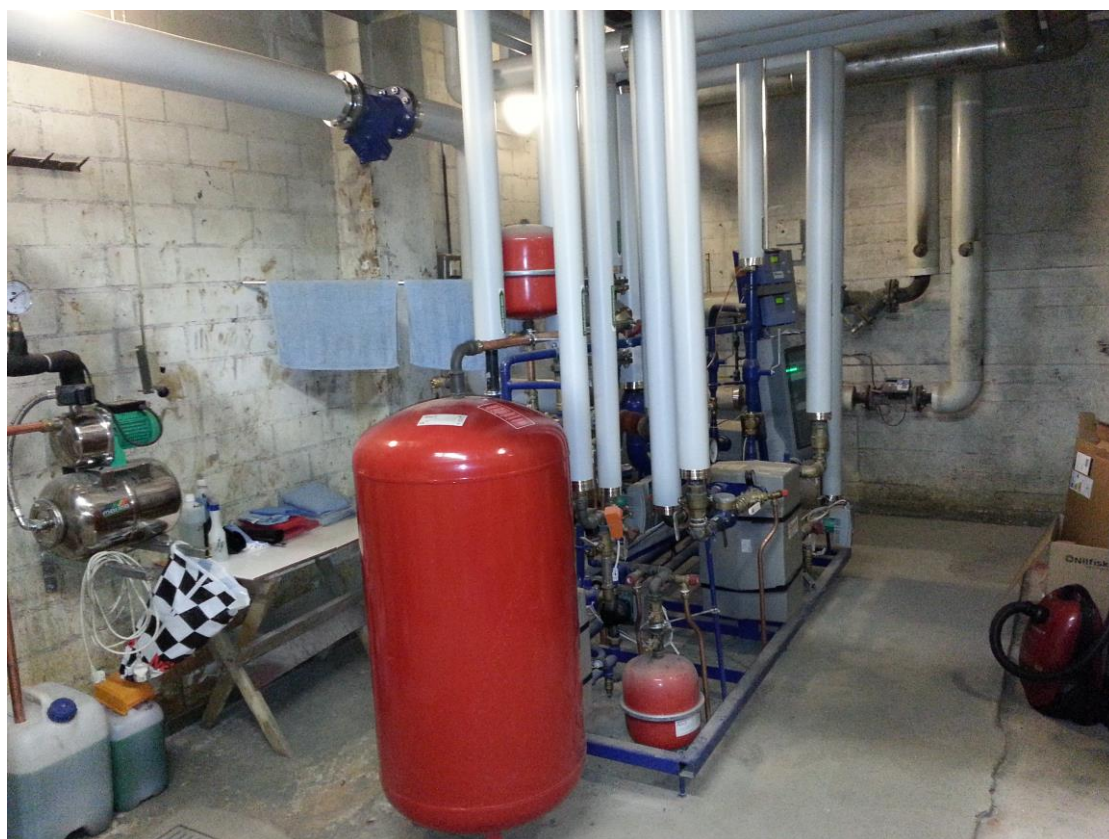
KUVA 29. As Oy Kauppakatu 9

Vuonna 1967 rakennettu asuinkerrostalo (kuva 29). Rakennuksessa on 3 porraskäytävää, 4 kerrosta + pohjakerros, 39 asuntoa sekä lisäksi 2 liiketilaa (liikehuoneistoja 17 kpl), mitkä ovat kaikki saman lämmönjakohuoneen perässä. Huoneistopinta-ala rakennuksessa on yhteensä 3385 m² ja rakennustilavuus 15330 m³.

Rakennukseen on tehty laaja LVIS-saneeraus, joka valmistui helmikuussa 2013. LVIS-saneerauksen ohessa tulevaa PILP-järjestelmää varten oli ullakolle rakennettu lämmönjakohuoneelta valmiit putkivaraukset, mikä helpotti ja nopeutti putkitöitä. Myöskään sähkönsyöttöä tai sulakekokoja ei tarvinnut maalämpöpumppuja varten suurentaa, mikä toi säästöjä laitteiden investoinnissa. Lämpöpumpuille on oma sähkön alamittauksensa, mutta siitä ei ole tehty kuukausittaista seurantaa ja siihen oli kytkettynä alkuaikoina virheellisesti myös muita sähkölaitteita, eli sen antamiin lukemiin pelkkien lämpöpumppujen sähköenergiankulutuksesta ei voi luottaa.

6.2 LVI-järjestelmät

Rakennukseen uusittiin LVIS-saneerauksessa vesijohdot, viemärit ja kaukolämpöpaketti, jotka otettiin käyttöön maaliskuussa 2013 (kuva 30). Kaukolämpösiirrin on neljäpiirinen, jossa on lämmönsiirtimet rakennuksen patterilämmitykselle, saunaosaston lattialämmitykselle, käyttövedelle sekä saunaosaston ilmanvaihtokoneen LTO-patterille (taulukko 4). Myös patteriventtiilit uusittiin sekä lämmitysverkosto tasapainotettiin, mikä lisää energiansäästöä.



KUVA 30. Rakennuksen kaukolämpösiirrin

Seuraavasta taulukosta käy ilmi kaukolämpösiirtimen tehot ja mitoituslämpötilat tilavuusvirtoineen.

TAULUKKO 4. Kaukolämpösiirtimeen lämmityspiirit

	Käyttövesi	Lämmitys (patteri- verkosto)	Lämmitys (saunaosaston lattialämmitys)	Lämmitys (saunaosaston ilmanvaihto, LTO:n lämmitys)
Teho [kW]	300	250	3	35
Lämpötilaohjelma, ensiö/toisio [°C]	70-18 / 10-58	115-49 / 48-68	75-33 / 32-36	115-49 / 50-70
Tilavuusvirtaama, ensiö/toisio [l/s]	1,39 / 1,50	0,93 / 3,04	0,02 / 0,18	0,14 / 0,43

Kaukolämmön rinnalle kytkettiin jatkuvan poistoilmavirran (1400 l/s) perusteella mitoitettu poistoilmalämpöpumppujärjestelmä, joka otettiin käyttöön 2.12.2013. Järjestelmä on epäsuorahöyrysteinen, eli lämmöntalteenottoyksikkö sijaitsee ullakolla ja lämpöpumppuyksikkö lämmönjakohuoneessa. Lämmönsiirtoputket kulkevat rakennuksen sisällä eristettyinä (Cu54, eristesarja 23) ja lämmönsiirtonesteinä käytetään vesi-glykoli-seosta.



KUVA 31. Kair Pilpit-lämmöntalteenottoyksikkö

Lämmöntalteenottoyksikkö on kammiomallinen Kair Pilpit 20 S –malli (sopii 400 - 2000 l/s poistoilmavirroille ja LTO:n teho 9-45 kW). Lämmöntalteenottoyksikkö sijaitsee ullakkokerroksessa rakennuksen entisen kammiopuhaltimen paikalla (kuva 31). Huolimatta isosta koostaan ja painostaan (korkeus 1,5 m, leveys 1,0 m, syvyys 1,0 m ja 291 kg) LTO-yksikkö oli helppo kuljettaa ullakolle miesvoimin, sillä sen pystyi jakamaan osiin.



KUVA 32. Gebwell T15 -lämpöpumput

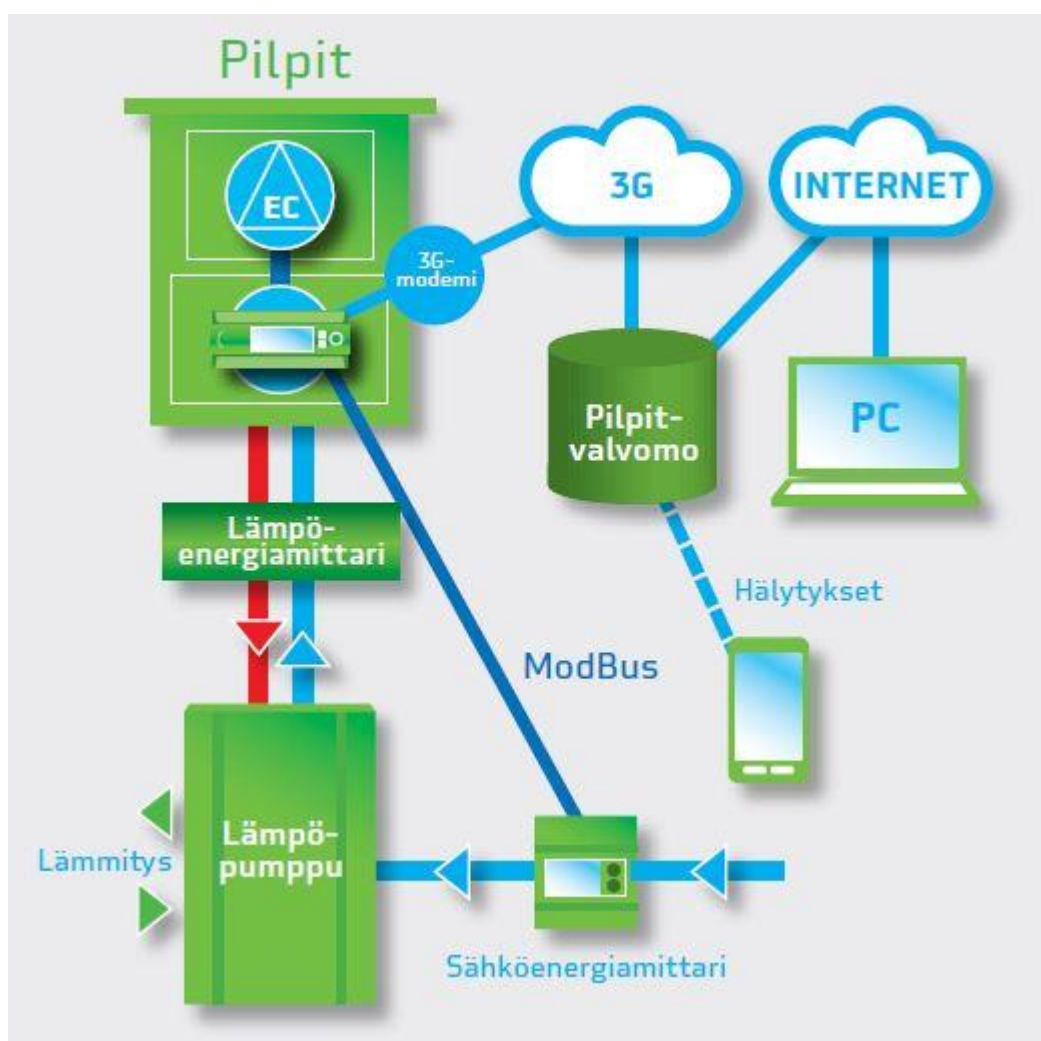
Lämpöpumppuyksikkönä toimii kaksi kappaletta 16,3 kW lämmitysteholtaan (0/50 °C lämpötiloilla) olevaa Gebwell T15 –scroll-kompressoriteknikalla olevaa lämpöpumpua (kuva 32). Kylmäaineena lämpöpumpuissa toimii R407C (1,3 kg/pumppu). [25; 37.]



KUVA 33. Käyttöveden ja lämmityspiirin variaajat PILP-järjestelmässä

Lämpöpumppujen yhteyteen on sijoitettu 1000 l käyttövesivaraaja käyttövettä varten ja 600 l lauhdevaraaja lämmityspiiriä varten (kuva 33).

KytKentä kaukolämpösiirtimeen on tehty siten, että PILP-järjestelmän lämpöenergiaa hyödynnetään ensisijaisesti rakennuksen patterilämmitykseen 600 l lauhdevaraajan kautta ja lämmityskauden ulkopuolella, milloin lämmitystehontarpeet ovat pienimmillään, lämpöenergia hyödynnetään kolmitieventtiilillä käyttöveden lämmitykseen 1000 l käyttövesivaraajan kautta (kuva 34). Lämpöpumppuja on kaksi kappaletta, mikä pienentää aikavastetta järjestelmässä ja saa aikaan pidempiä käyntiaikoja, mikä ei kuormita lämpöpumppuja samallalailla kuin yhden ison hetkellinen käyttö. Ensisijainen ”master” lämpöpumppu tekee lämmitys- ja käyttövesilämpöenergiaa ja toissijainen ”slave” lämpöpumppu vain lämmitysvesienergiaa. Tämä myös parantaa lämpöpumppujen hyötysuhdetta. Myöskään sähkönsyöttöä ei tarvinnut rakennukseen suurentaa (T15 lämpöpumpussa 3x16 A, kun taas T30 pumpussa olisi ollut 3x32 A) ja sähkön hetkellinen ottotehontarvepiikki on pienempi kuin yhdessä isommassa.

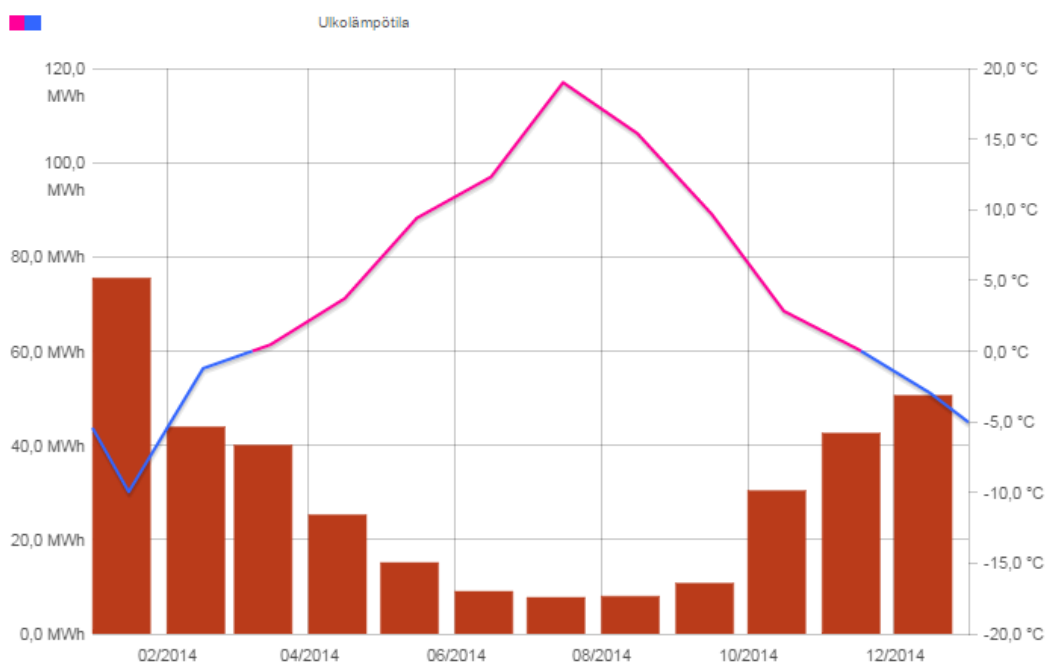


KUVA 35. Poistoilmalämpöpumpun ohjausperiaate

Tätä kaikkea ohjataan kaukohallinnalla (kuva 35), mikä ohjaa ja säätää järjestelmää, sekä ilmoittaa puhaltimen ottotehon, ilmamäärän, SFP-luvun, kertoo LTO-patterin reaaliaikaisen tehon, lämpöpumpun COP-luvun sekä antaa hälytykset muun muassa likaisesta suodattimesta ja muista häiriötilanteista. Myös energiansäästöraportointi on mahdollista saada sähköpostiin kaukohallinnan kautta.

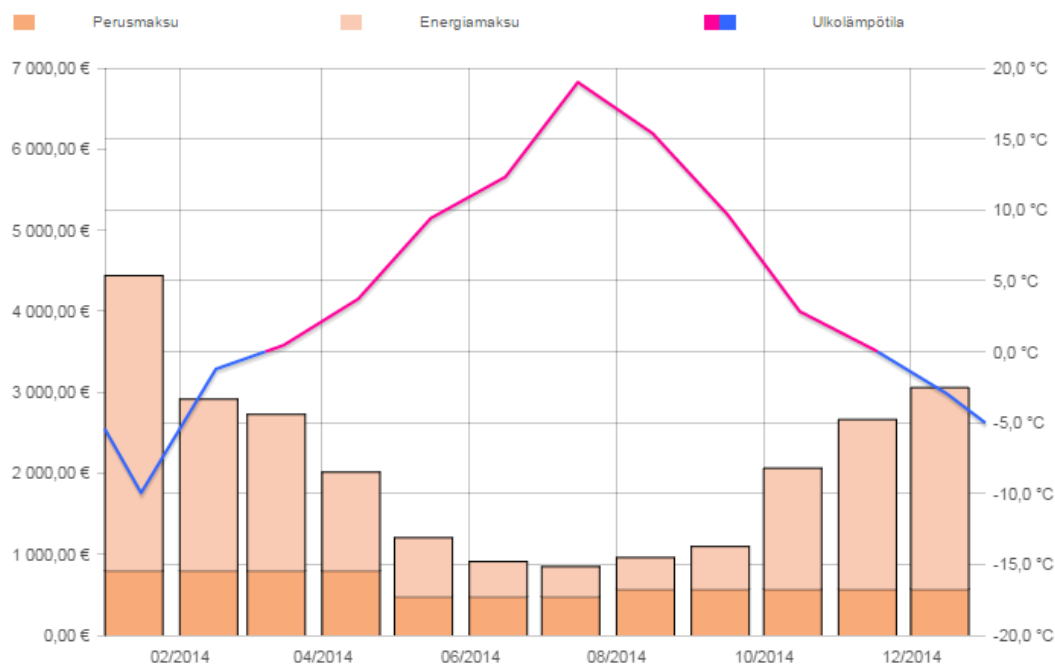
6.4 Kaukolämmön kulutukset ja kustannukset kuukausittain 2014

Kaukolämmön kulutus- ja kustannuskuvaajista (kuvat 36 ja 37) nähdään, että kesäkuukausina ulkolämpötilan kohotessa vastaavasti kaukolämmön tarve rakennuksen lämmitykseen pienenee huomattavasti.



KUVA 36. Kaukolämmön kulutus 1.1. - 31.12.2014 [38]

Kaukolämmön kulutus ajanjaksolla 1.1. - 31.12.2014 (kuva 36) oli yhteensä 385,550 MWh. Kuvaajasta nähdään, että kaukolämmön kulutus on loogisesti pienimmillään kesäkuukausina ja sen kulutus nousee ulkolämpötilan laskiessa.

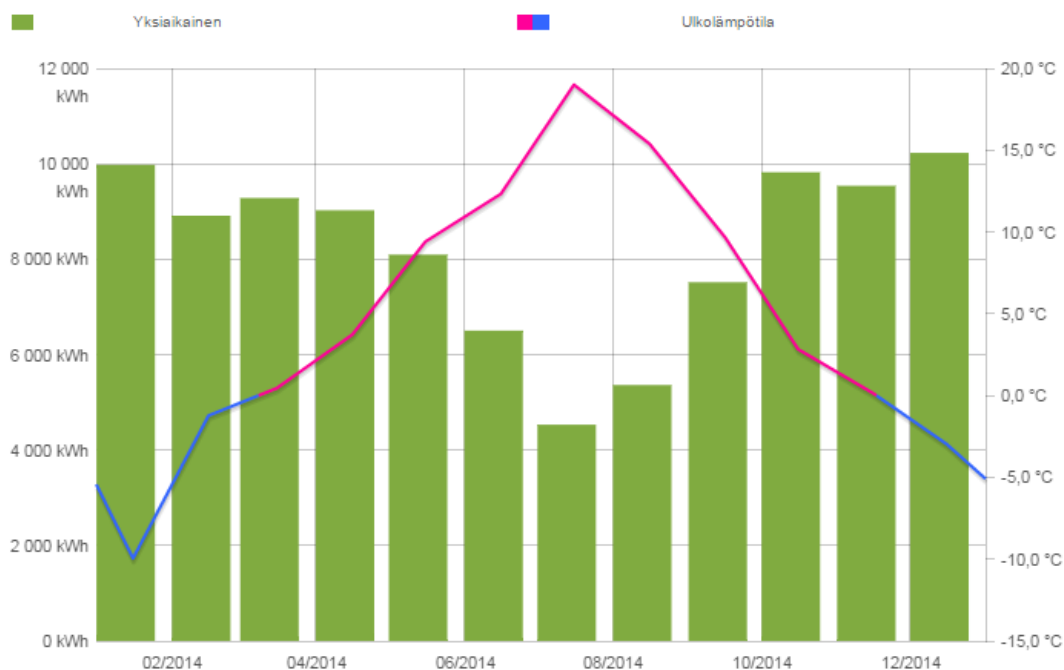


KUVA 37. Kaukolämmön kustannukset 1.1. - 31.12.2014 [38]

Kaukolämmön kustannukset ajanjaksolla 1.1. - 31.12.2014 (kuva 37) olivat yhteensä 24884,16 €. Toukokuussa tilausvesivirtaa pienennettiin, mikä pudotti perusmaksua 40 % eli 320 €/kk (794,83 € → 474,83 €). Tästä se on noussut kuitenkin ja tasaantunut elokuussa arvoon 567,19 €/kk. Verrattuna vuosien 2011-2013 keskimääräiseen perusmaksuun 679,17 €/kk tämä on 111 € eli 16 % vähemmän.

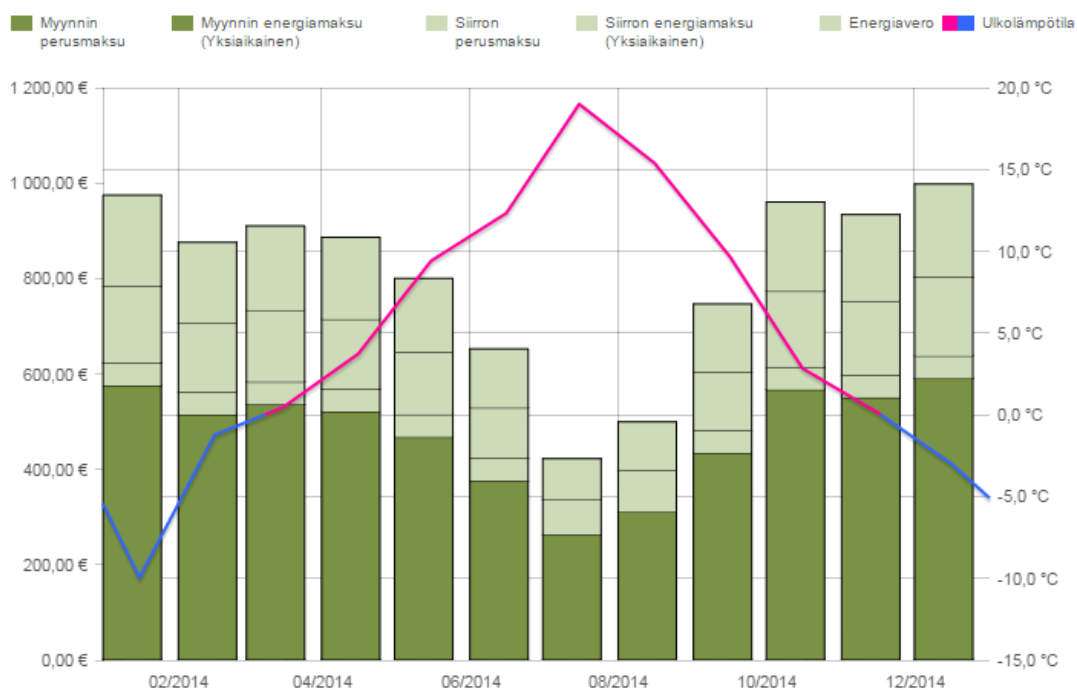
6.5 Sähköenergian kulutukset ja kustannukset kuukausittain 2014

Sähköenergian kulutus- ja kustannuskuvaajista (kuvat 38 ja 39) nähdään, että kesäkuukausina sähkönkäyttö pienenee rakennuksessa muun muassa valaistuksen tarpeen pienentyessä valoisina kesäkuukausina ja autojen lämmityksen jäädessä pois.



KUVA 38. Sähköenergian kulutus 1.1. - 31.12.2014 [38]

Sähköenergian kulutus ajanjaksolle 1.1. - 31.12.2014 (kuva 38) oli yhteensä 98886 kWh.

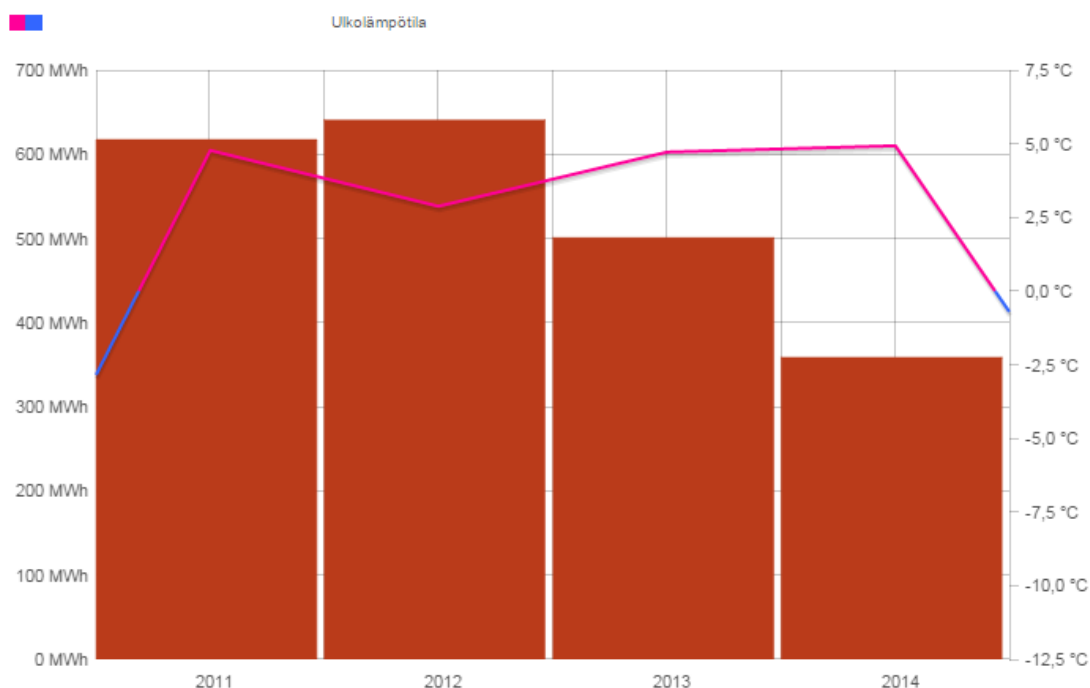


KUVA 39. Sähköenergian kustannukset 1.1. - 31.12.2014 [38]

Sähköenergian kustannukset ajanjaksolle 1.1. - 31.12.2014 (kuva 39) olivat yhteensä 9670,46 €. Kuten kuvaajasta nähdään, sähkön perusmaksu energiayhtiöillä pienenee käytön vähetessä kesällä ja öisin.

6.6 Kaukolämmön kulutukset ja kustannukset vuosina 2011-2014

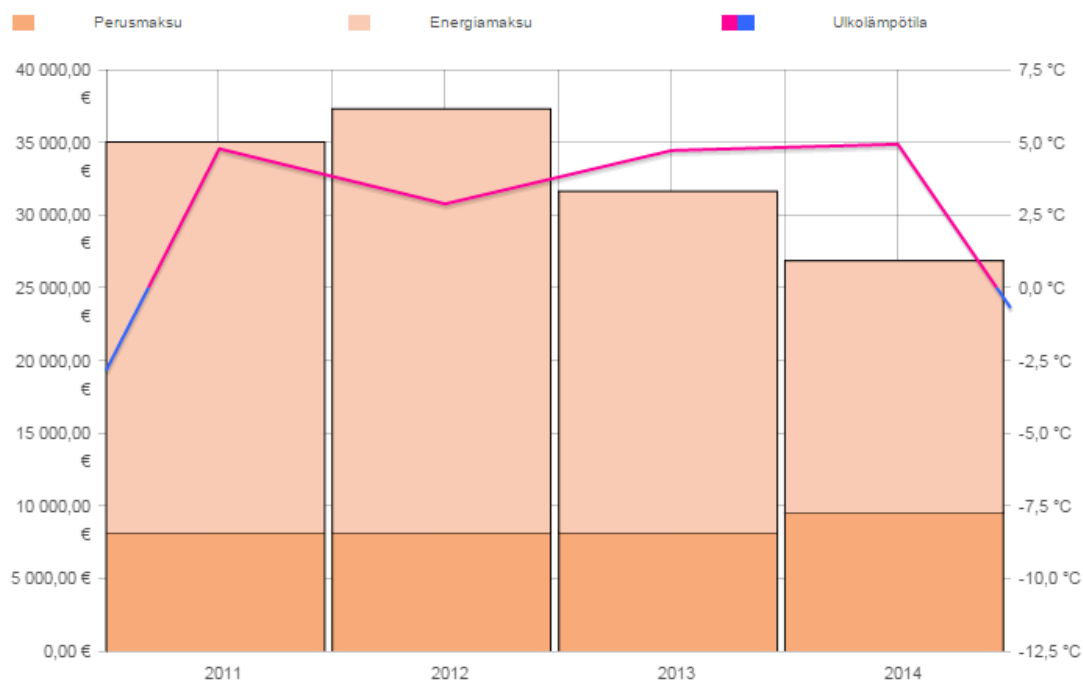
Kulutus- ja kustannuskuvaajista vuosilta 2011 - 2014 (kuvat 40 ja 41) nähdään, että vuonna 2013 ollut lämmin talvi sekä rakennuksessa tehty LVIS-saneeraus (uusi kauko-lämpöpaketti, uudet patteriventtiilit, lämmitysverkoston tasapainotus) alensi jo kauko-lämmönkulutusta huomattavan osan verrattuna edellisvuosiin ja vuonna 2014 käytössä ollut poistoilmalämpöpumppu alensi kulutusta entisestään. Siksi kaukolämmön kulutuslukemia verrataan vuosiin 2011 ja 2012 ja sähköä taas vuosiin 2012 ja 2013 sillä oletuksella, ettei vuoden 2013 LVIS-remontti ole vähentänyt merkittävästi sähkönkulutusta (kuten tilastot 42 ja 43 osoittavat).



KUVA 40. Kaukolämmön energiankulutus 2011 - 2014 [38]

Kaukolämmön energiankulutus vuosina 2011 - 2014 (kuva 40) oli yhteensä 2117,310 MWh. Keskiarvo vuosilta 2011 ja 2012 oli 629 MWh/vuosi. Kulutus vuonna 2014 oli

359 MWh/vuosi, eli PILP-järjestelmä laskee kaukolämmön energiankulutusta vuositasolla noin 43 %. Tämä tekee 270 MWh energiansäästön vuodessa.

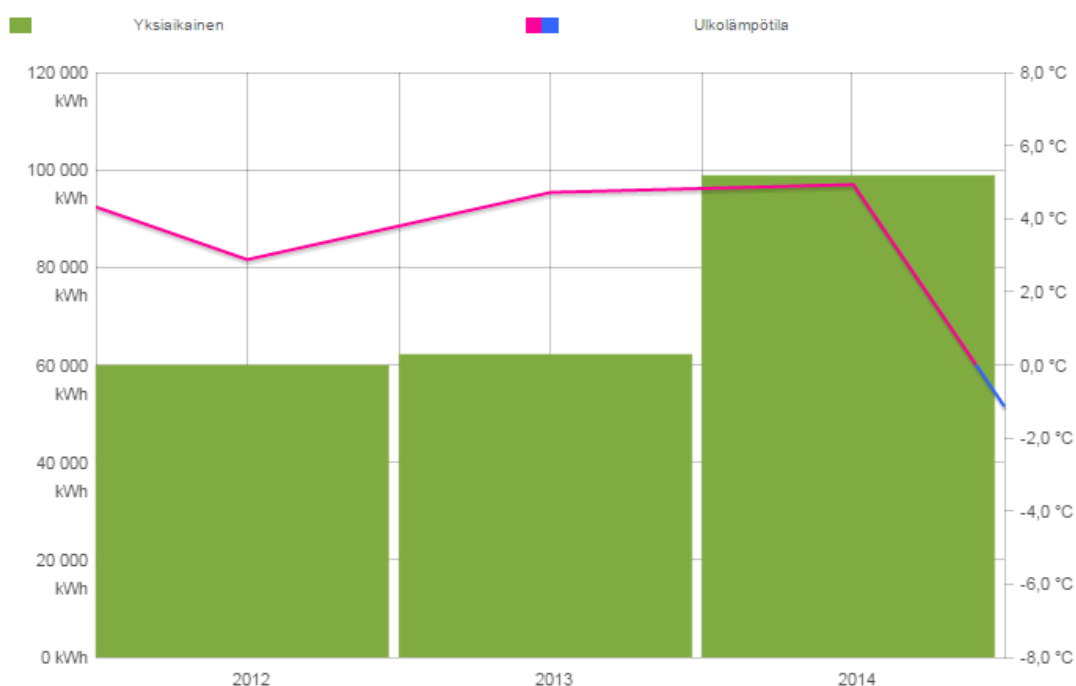


KUVA 41. Kaukolämmön kustannukset 2011 - 2014 [38]

Kaukolämmön kustannukset vuosina 2011 - 2014 (kuva 41) olivat yhteensä 129269,10 €. Keskiarvolta vuosilta 2011 ja 2012 oli 36377 €/vuosi. Kustannukset vuonna 2014 olivat 24884 €/vuosi (vaikka kuva 41 näyttääkin noin 27 000 €), eli PILP-järjestelmä laskee kaukolämmityksen kustannuksia vuositasolla noin 32 %. Tämä tekee vuodessa siis 11493 € kustannussäästön. Kuvaajassa näkyy myös kohonnut perusmaksu vuonna 2014, mikä selittyy LVIS-saneerauksen aikana vaihdetulla aiempaa tehokkaammalla kaukolämpöpaketilla.

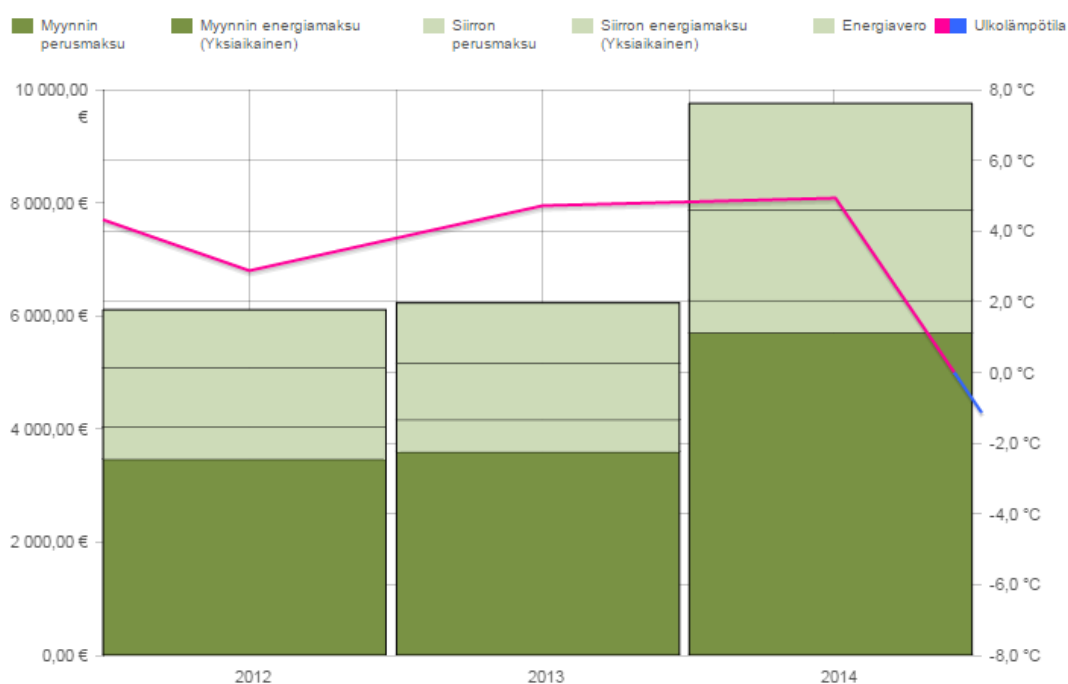
6.7 Sähköenergian kulutukset ja kustannukset vuosina 2012-2014

Sähköenergian kulutus- ja kustannustietoja ei saatu vuodelta 2011 niin kuin kaukolämmön kohdalla, mutta vuosien 2012 - 2014 kuvaajat (kuvat 42 ja 43) näyttävät, kuinka poistoilmalämpöpumpun asennus on lisännyt huomattavasti sähkönkulutusta vuonna 2014 verrattuna edellisvuosiin.



KUVA 42. Sähköenergiankulutus 2012 - 2014 [38]

Sähköenergiankulutus vuosina 2012 - 2014 (kuva 42) oli yhteensä 220748 kWh. Keskiarvo vuosilta 2012 ja 2013 oli 60974 kWh/vuosi. Kulutus vuonna 2014 oli 98801 kWh, eli PILP-järjestelmän tuoma lisäys sähköenergiankulutukseen vuositasonalla on noin 62 %. Kulutus lisääntyi siis 37827 kWh/vuosi.



KUVA 43. Sähköenergiankulutuksen kustannukset 2012 - 2014 [38]

Sähköenergiankulutuksen kustannukset vuosina 2012 - 2014 (kuva 43) olivat yhteensä 21981 €. Keskiarvo vuosilta 2012 ja 2013 oli 6169 €/vuosi. Kuvaajassa näkyy vuonna 2014 lämpöpumppujen myötä suurentunut kulutus ja perusmaksu. Kustannukset vuonna 2014 olivat 9756 € eli PILP-järjestelmän tuoma lisäys sähköenergiankulutuksen kustannuksiin vuositasona on noin 58 %. Kustannukset lisääntyivät siis 3587 €/vuosi.

6.8 Normeerattu energiankäyttö vuonna 2014

Sääkorjattu eli normeerattu energian käyttö ilmaisee käytön lämpötilakorjattuna normaalivuoteen kohdan 4.6 mukaisesti. Normeerauksella saadaan siis lämmitysenergi-
oista keskenään vertailukelpoisia ulkoilman lämpötilaeroista huolimatta.

Rakennuksen kaukolämpö- ja sähköenergiankulutus oli vuonna 2014 yhteensä $(98,886 \text{ MWh} + 385,55 \text{ MWh}) = 484,436 \text{ MWh}$. Vuoden 2014 lämmitystarveluku Jyväskylässä oli $4349 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ja normaalivuoden (1981 - 2010) $4832 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Lämpimän käyttöveden tarve lasketaan asuinrakennuksissa olevan 40 % kokonaiskulutuksesta, eli $2800 \text{ m}^3/\text{vuosi} * 0,4 = 1120 \text{ m}^3$. Yhden vesikuution lämmittäminen $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ($5 \text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 55 \text{ }^{\circ}\text{C}$) vaatii 58 kWh/m^3 energiaa, eli $1120 \text{ m}^3 * 58 \text{ kWh/m}^3 = 64960 \text{ kWh} = 64,96 \text{ MWh}$.

Näillä tiedoilla saadaan laskettua sääkorjattu lämmitysenergia. Koska veden lämmittämiseen ei ulkoilman lämpötila vaikuta, ei veden lämmittämiseen käytettyä energiaa sääkorjata:

$$Q_{norm} = k * \frac{S_{Nvpkunta}}{S_{toteutunut\ vpkunta}} * Q_{toteutunut} + Q_{lkv} \quad (5)$$

$$\rightarrow Q_{norm} = 1,04 * \frac{4832}{4349} * (484,436 \text{ MWh} - 64,96 \text{ MWh}) + 64,96 \text{ MWh}$$

$$\rightarrow Q_{norm} = 549,67 \text{ MWh}$$

Muuttamalla tämä kilowattitunneiksi 549666 kWh voidaan laskea rakennuksen lämpöindeksi jakamalla luku rakennuksen tilavuudella. $549666 \text{ kWh} / 15330 \text{ m}^3 = \underline{35,86 \text{ kWh/m}^3}$.

Edellä mainitut tulokset ovat sekä normeerattu energiankulutus valtakunnalliseen vertailupaikkakuntaan (Jyväskylään, koska kohdekin on Jyväskylässä) että normeerattu energiankulutus oman alueen vertailupaikkakuntaan, sillä k_1 ja k_2 –kertoimet Jyväskylän kohdalla ovat molemmat 1,04.

Normeeraus tehtynä nähdään, kuinka paljon leuto sää vuonna 2014 vaikutti lämmitys-energiankulutukseen alentavasti. Vuonna 2014 energiankulutus oli 484,436 MWh, kun normaalivuonna se olisi 549,67 MWh eli noin 12 % vähemmän. [45.]

6.9 Nykyarvomenetelmä

Nykyarvomenetelmä on laskentakorkokannan käyttöön perustuva investoinnin kannattavuuden laskentamenetelmä, joka on yksi yleisimmistä investointilaskelmamenetelmistä. Menetelmässä lasketaan järjestelmän tuottojen ja menojen nykyarvot diskonttaamalla ne tietyllä laskentakorkokannalla nykyhetkeen: [52, s. 57-64.]

$$\text{Nykyarvo, energia} = (Q_{\text{lämmitys}} + Q_{\text{sähkö}}) * \frac{1}{(i-p)} * \frac{(1+(i-p))^{n-1}}{(1+(i-p))^n} \quad (6)$$

$$\text{Nykyarvo, huolto} = H * \frac{(1+i)^{n-1}}{i*(1+i)^n} \quad (6)$$

Joissa:

Nykyarvo, energia = vuosittaisten energiakustannusten nykyarvo [€]

Nykyarvo, huolto = vuosittaisten huoltokustannusten nykyarvo [€]

$Q_{\text{lämmitys}}$ = Kaukolämpöenergian kustannukset vuodessa (2014) [€]

$Q_{\text{sähkö}}$ = Sähköenergian kustannukset vuodessa (2014) [€]

i = Reaalikorkokanta (4 %)

p = Energian hinnannousu vuodessa [5 %]

n = Käyttöaikajakso (30 vuotta)

H = Järjestelmän huoltokustannukset vuodessa [€]

$$\text{Nykyarvo, energia} = (11493 \text{ €} - 3587 \text{ €}) * \frac{1}{(0,04-0,05)} * \frac{(1+(0,04-0,05))^{30}-1}{(1+(0,04-0,05))^{30}}$$

$$\rightarrow \underline{\text{Nykyarvo, energia} = 278211 \text{ €}}$$

$$\text{Nykyarvo, huolto} = 300 \text{ €} * \frac{(1+0,04)^{30}-1}{0,04*(1+0,04)^{30}}$$

$$\rightarrow \underline{\text{Nykyarvo, huolto} = 5188 \text{ €}}$$

6.10 Takaisinmaksuaika PILP-järjestelmälle

Takaisinmaksuaajan laskennassa on käytetty seuraavia hintoja ja oletuksia:

- PILP-järjestelmän kokonaishinta 61800 € ALV 24 %, sisältäen:
 - Kair Pilpit 20 S LTO-yksikön
 - Kaksi kappaletta Gebwell T15 lämpöpumppuja
 - Kaksi kappaletta varaaajia 1000 l (käyttövesi) ja 600 l (lämmityspiiri)
 - Lämmönsiirtonesteen täyttölaitteiston
 - Kaukohallintapaketin
 - Sähkötyöt tarvikkeineen
 - Putkityöt lämmönjakohuoneen osalta sekä kaikkien näiden käyttöönoton virityksi-
 - neen.
 - Hinnassa on huomioitu LVI-Poretta Oy:n esittelykohteena toimiminen Jyväskylän keskusta-alueella.
- Poistoilmamäärä 1400 l/s (Poistoilmanvaihdon käyntiaika 24 h/vrk eli 168 h/viikko).
- Ilmanvaihdon tehostuksen tuoma lisätehokkuus PILP:lle (+30 % poistoilmavirta 3 krt 2 h/vrk, noin 5 % vuotuinen lisäteho lämmitykseen).
- PILP-laitteiston oletettu käyttöikä 30 vuotta (valmistajan ilmoittama). [25]
- Sähkön hinta 99 €/MWh eli 0,10 €/kWh ALV 24 %, mikä oli keskimääräinen sähkön hinta tässä rakennuksessa vuonna 2014. Energiayhtiönä Jyväskylän Energia, sisältää energiamaksun, -veron ja sähkönsiirron (keskimäärin sähkön hinta vuonna 2014 oli Suomessa 110 €/MWh). [23]
- Kaukolämmön hinta 69 €/MWh eli 0,07 €/kWh ALV 24 %, mikä oli kaukolämmön keskimääräinen hinta tässä rakennuksessa vuonna 2014. Energiayhtiönä Jyväskylän

Energia 2014, sisältää energia- ja perusmaksun (keskimäärin kaukolämmön hinta vuonna 2014 oli Suomessa 70 €/MWh). [24]

- Kaukolämmönkulutus yhteensä 629 MWh/vuosi, josta PILP säästää 43 % eli 270 MWh/vuosi (rahana 11493 €/vuosi).
- Kaukolämmön perusmaksun aleneminen 1332 €/vuosi.
- Sähkönkulutus 99 MWh/vuosi, johon PILP tuo lisäkulutusta 62 % eli 38 MWh/vuosi (rahana 3587 €/vuosi).
- Uuden puhaltimen sähkönkulutus 30-50 % pienempi kuin vanhalla puhaltimella.
- Huoltokustannukset 433 €/vuosi (suodattimen vaihto kerran vuoteen LTO-yksikköön 300 €/vuosi ja kompressorien vaihto kerran 15 vuoteen 4000 €/2 kpl, kustannukset jaettu 30 vuodelle).

Seuraavia seikkoja ei takaisinmaksuajan laskennassa huomioitu:

- Energia-avustus (tavallisesti 15 %) laitteen kokonaishinnasta, tähän kohteeseen eivät määrärahat vuonna 2014 kaupungilla riittäneet, mutta vastaaviin kohteisiin energia-avustus on tavallisesti myönnetty.
- Energian ja huoltokustannusten vuotuinen hinnankkehitys (noin 5 %).
- Mahdollisen lainan korko (noin 3 %).
- Todelliset huoltokulut. Esimerkiksi tässä työssä tutkittu PILP-järjestelmä ilmoittaa paine-eron perusteella suodattimesta, milloin se tulee vaihtaa, eli laskennassa käytetty vuoden vaihtoväli voi olla liioiteltu. Myös lämpöpumppujen kompressorien käyttöikä vaihtelee, tutkittavassa kohteessa olevat puskurivaraajat vähentävät kompressorin käynnistymistarvetta ja pidentävät käyntiaikaa. Tämä myös pidentää kompressorien käyttöikää.
- Energianhinnoittelu vaihtelee energiayhtiöittäin ja rakennustyypeittäin kulutuksien mukaan. Laskuissa käytetyt PILP:n energiankulutukset olivat vuonna 2014 toteutuneita arvoja, joita verrattiin aiempien vuosien keskiarvoihin, sillä PILP-järjestelmälle ei ollut luotettavaa alamittausta energiankulutuksista.

Nämä huomioon ottaen saadaan vuosittaiseksi säästöksi $11493 \text{ €} + 1332 \text{ €} - 3587 \text{ €} - 433 \text{ €} = 8805 \text{ €/vuosi}$.

Yhteensä rakennus kulutti ennen PILP-järjestelmää keskimäärin 629 MWh/vuosi kaukolämpöä ja 61 MWh/vuosi sähköä, eli yhteensä energiankulutus oli keskimäärin 690

MWh/vuosi. PILP-järjestelmän asennuksen jälkeen tämä yhteiskulutus putosi 232 MWh/vuosi, mikä on prosentteina 34 % eli noin kolmanneksen rakennuksen kokonaisenergiantulutuksesta. Aiemmat kustannukset olivat sähkön osilta 6169 €/vuosi + kaukolämpö 36377 €/vuosi eli kokonaiskustannukset näistä olivat yhteensä 42546 €/vuosi, joista vuotuinen säästö 8805 €/vuosi on 21 %.

Takaisinmaksuaika saadaan selvitettyä seuraavalla kaavalla [39].

$$Takaisinmaksuaika = \frac{\text{Hankintahinta}}{\text{Vuotuinen säästö}} \quad (7)$$

Jossa:

Takaisinmaksuaika [vuosi] = Koroton takaisinmaksuaika PILP-järjestelmälle

Hankintahinta = Järjestelmän kokonaishinta [€]

Vuotuinen säästö = Raha, jonka järjestelmä säästää vuodessa verrattuna vanhaan laitteistoon [€/vuosi]

$$\rightarrow Takaisinmaksuaika = \frac{61800\text{€}}{8805 \text{ €/vuosi}} \quad (7)$$

$$\rightarrow \underline{Takaisinmaksuaika = \sim 7 \text{ vuotta}}$$

Seitsemän vuoden käytön jälkeen järjestelmä on siis maksanut itsensä takaisin. Jos järjestelmä tuottaa vuosittain 8805 € säästön, on investoinnin tuotto oletetulla 30 vuoden käyttöiällä 264150 €.

6.11 Sijoitetun pääoman tuotto PILP-järjestelmälle

Sijoitetun pääoman tuotto saadaan selvitettyä seuraavalla kaavalla [46].

$$\text{Sijoitetun pääoman tuotto} = \frac{\text{Hankkeen investointikustannus}}{\text{Investoinnin tuotto}} \quad (8)$$

Jossa:

Sijoitetun pääoman tuotto = Tunnusluku, joka kuvaa suhteellista kannattavuutta.

Hankkeen investointikustannus = Laitteen kokonaishinta korkoineen

Investoinnin tuotto = investoinnin tuotto 30 vuoden aikana

$$\rightarrow \text{Sijoitetun pääoman tuotto} = \frac{61800\text{€}}{264150\text{€}}$$

$$\rightarrow \text{Sijoitetun pääoman tuotto} = 23 \%$$

TAULUKKO 5. Sijoitetun pääoman tuoton viitteelliset normiarvot [46]

Erinomainen	> 15 %
Hyvä	10 - 15 %
Tyydyttävä	6 - 10 %
Välttävä	3 - 6 %
Heikko	< 3%

Sijoitetun pääoman tuotoksi saatiin 23 %, mikä viittaa (taulukko 5) erinomaiseen sijoitetun pääoman tuottoon.

6.12 Vertailu muihin vastaaviin kohteisiin

Vertailun vuoksi voidaan tarkastella joitakin aiemmin tehtyjä opinnäytetöitä poistoilmalämpöpumpuista. Takaisinmaksuaikoja on pyöristetty vuoden tarkkuudelle niin kuin tehtiin tässäkin työssä.

TAULUKKO 6. Vertailuarvoja poistoilmalämpöpumpulle eri kohteista

Tekijä	Kohde	PILP Hankinta-hinta [€]	Säästöt vuodessa [€]	Takaisin-maksuaika [vuotta]
Juho Jormakka, tämä opinnäytetyö	Kerrostalo, Jyväskylä	61 800	8805	7
Ari Matilainen, opinnäytetyö [47]	Kerrostalo, Helsinki	119 000	3735	9
Jarkko Lukander, opinnäytetyö [48]	Kerrostalo, Pori	50 000	5516	9
Tero Huuhtanen, opinnäytetyö [49]	Kerrostalo, Akaa	44 700	1979	23
Tero Huuhtanen, opinnäytetyö [49]	Kerrostalo, Porvoo	111 000	7404	15
Tero Huuhtanen, opinnäytetyö [49]	Kerrostalo, Oulu	50 000	10 000	5
Mindi Westman, opinnäytetyö [50]	Kerrostalo, Espoo	60 000	9300	7
Mindi Westman, opinnäytetyö [50]	Kerrostalo, Espoo	85 000	10 000	9
Mindi Westman, opinnäytetyö [50]	Kerrostalo, Lahti	45 000	8300	5
Mindi Westman, opinnäytetyö [50]	Kerrostalo, Tampere	179 000	25 000	7
Mindi Westman, opinnäytetyö [50]	Kerrostalo, Tampere	53 000	8000	7
Janne Heinonen, Enermix Oy [51]	Kerrostalo, Jyväskylä	?	17 355	?
Janne Heinonen, Enermix Oy [51]	Kerrostalo, Jyväskylä	?	11 000	?

Kuten eri tekijöiden eri kohteista näkyy (taulukko 6), vaihtelevat PILP-järjestelmän investointikustannukset ja siitä saatavat säästöt huomattavastikin kohteesta riippuen, eli aina ei ole itsestäänselvää, että poistoilmalämpöpumppu toisi huomattavia säästöjä joka

kohteeseen. On myös huomioitava, että taulukossa eri tekijät ovat laskeneet PILP:n takaisinmaksuaikoja eri oletuksin, mutta pääpiirteittäin kuitenkin samoin periaattein.

7 YHTEENVETO

Poistoilmalämpöpumput ovat jatkuvasti suosiotaan kasvattava keino parantaa koneellisella poistoilmanvaihdolla ilman lämmöntalteenottoa olevien vanhojen rakennusten energiataloudellisuutta. Tällaiset rakennukset ovat tällä hetkellä siinä iässä, että niissä on ajankohtaista tehdä saneeraustoimenpiteitä erityisesti talotekniikan ja energiataloudellisuuden suhteen.

Poistoilmalämpöpumpulla saatiin säästettyä tutkittavassa rakennuksessa vuonna 2014 yhteensä 34 % eli 232 MWh energiaa (rahana 8805 €) verrattuna entiseen järjestelmään, jossa oli koneellinen poistoilmanvaihto ilman lämmöntalteenottoa. Näillä säästöillä saatiin tutkittavan PILP-laitteiston korottomaksi takaisinmaksuajaksi noin seitsemän vuotta ja sijoitetun pääoman tuotoksi 23 %.

On huomioitava, että vuoden 2013 LVIS-saneerauksen aikana uusitut kaukolämpöpaketit ja patteriventtiilit termostaateineen sekä lämmitysverkoston tasapainotus vaikuttavat energiansäästöön myönteisesti. Myös saneerauksen aikana tehdyt putkivaraukset ullakolta lämmönjakohuoneelle nopeuttivat asennusta tuoden säästöjä. Laskennat tehtiin niiltä osin, miten laitteisto kohteessa on energiayhtiön lukemien mukaan toiminut vuoden 2014, eli tuloksissa ei huomioitu esimerkiksi PILP-järjestelmään tehtäviä muita mahdollisia korjauksia, LTO-patterin puhdistuksia, energianhinnan ja rahan arvon vaihteluita, inflaatiota, kytkentätavan vaikutusta, käytön optimointia, laitteiston tehokkuutta verrattuna muihin valmistajiin ja muita tekijöitä, mitkä voivat vaikuttaa todelliseen laitteiston tehokkuuteen, takaisinmaksu-aikaan ja investoinnin tuottoon.

Laskennoissa käytettiin monia oletuksia, minkä vuoksi saatuja tuloksia tulee pitää suuntaa antavana.

Kaikkiaan poistoilmalämpöpumppu näyttäisi olevan kannattava ratkaisu energiatehokkuuden parantamiseen vanhoissa rakennuksissa, joissa ei vielä ole lämmöntalteenottoa

poistoilmasta ole. Se on kuitenkin suunniteltava ja toteutettava huolella, jotta järjestelmä saadaan mahdollisimman energiatehokkaaksi ja sitä kautta taloudellisesti kannattavaksi.

LÄHTEET

1. Aittomäki, Antero. Kylmätekniikka. Helsinki: Suomen Kylmäyhdistys ry. 2008.
2. Seppänen, Olli. Rakennusten lämmitys. Suomen LVI-liitto ry. 2001
3. Rakennustieto Oy. Kerrostalot 1880 – 2000. Tampere: Tammer-Paino oy. 2006.
4. Lämmitysenergia Yhdistys ry. Lämmöntalteenottoilta taloyhtiöille. PDF-dokumentti. Päivitetty 25.11.2013. Luettu 5.1.2015. <http://www.ekokumppanit.fi/tarmo/files/2013/11/hannula131125.pdf>
5. Asunto & Kiinteistö -lehti. Ilmasta energiaa. WWW-dokumentti. Päivitetty 5.12.2011. Luettu 5.1.2015. <http://www.asutokiinteisto.fi/lehti.php?sub=artikkeli&jid=85>
6. Tilastokeskus. Asumisen energiankulutus. PDF-dokumentti. Päivitetty 14.11.2014. Luettu 5.1.2015. http://www.tilastokeskus.fi/til/asen/2013/asen_2013_2014-11-14_fi.pdf
7. Yritystulkki. Investoinnin laskentaopas. PDF-dokumentti. Päivitetty 2013. Luettu 6.1.2015. http://www.yritystulkki.fi/files/yt22_investoinnin_laskenta_pre.pdf
8. Sirén Kai. Rakennusten energiainvestointien kannattavuuden laskenta. Aalto yliopisto. PDF-dokumentti. Päivitetty 2014. Luettu 6.1.2015. https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/ene-58.4129/materiaali/Ene-58_4129_energiainvestointien_laskenta.pdf
9. Energimyndigheten. Frånluftsvärmepumpar. WWW-dokumentti. Päivitetty 27.12.2012. Luettu 6.1.2015. <http://www.energimyndigheten.se/Hushall/Testerresultat/Testresultat/Franluftsvarmepumpar-2012/?tab=1>

10. Rehva The European HVAC Journal. Heat pumps and the use of renewable energy sources. PDF-dokumentti. Päivitetty 1.8.2011. Luettu 8.1.2015.
<http://www.rehva.eu/fileadmin/hvac-dictio/04-2011/rj1104.pdf>
11. Kaappola Esko. Kylmätekniiikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus. 2011.
12. Sandberg Esa. Ilmastointilaitoksen mitoitus, osa 2. Tampere: Tammerprint. 2014.
13. Rakennusperintö. Kerrostalojen perusrakenteet ja talotekniikka 1880-luvulta nykypäivään. WWW-dokumentti. Ei päivitystietoa. Luettu 8.1.2015. http://www.rakennusperinto.fi/Hoito/Korjaus_artikkelit/fi_FI/Kerrostalojen_perusrakenteet_talotekniikka/
14. Ympäristöministeriö. Rakennusmääräyskokoelma, osa F2. Rakennuksen käyttöturvallisuus, määräykset ja ohjeet 2001. PDF-dokumentti. Päivitetty 1.3.2001. Luettu 8.1.2015. <http://www.finlex.fi/data/normit/6376-F2.pdf>
15. Talokeskus. Kiinteistön kunnossapito. WWW-dokumentti. Ei päivitystietoa. Luettu 8.1.2015. <http://www.talokeskus.fi/yllapitopalvelut/kunnossapito/pts/>
16. Talokeskus. Putkiremontti. WWW-dokumentti. Ei päivitystietoa. Luettu 12.1.2015. <http://www.talokeskus.fi/rakennuttajapalvelut/putkiremontti/>
17. Korjaustieto. Korjausrakentamisen avustukset ja rahoitus. WWW-dokumentti. Ei päivitystietoa. Luettu 12.1.2015. <http://www.korjaustieto.fi/viranomaistieto/korjausrakentamisen-avustukset-ja-rahoitus.html>
18. Ref Group. Energiansäästö ja lämpökertoimet. WWW-dokumentti. Ei päivitystietoa. Luettu 12.1.2015. <http://www.ilmalampopumput.fi/fi/mika-ihmeen-lampo-pumppu/energiansaasto>
19. Nilan Oy. COP vs. SCOP –hyötysuhteiden erot. WWW-dokumentti. Ei päivitystietoa. Luettu 12.1.2015. <http://www.nilan.fi/cop-vs-scop-hyotysuhteiden-erot/>

20. Suomen lämpöpumppuyhdistys ry. Lämpöpumput. WWW-dokumentti. Ei päivitystietoa. Luettu 12.1.2015. <http://www.sulpu.fi/lampopumput>
21. Suomen lämpöpumppuyhdistys ry. Lämpöpumpputilastoja. PDF-dokumentti. Päivitetty 2014. Luettu 13.1.2015. <http://www.sulpu.fi/documents/184029/209175/Lampopumpputilastoja-SULPU.pdf>
22. Findikaattori. Energia. WWW-dokumentti. Päivitetty 10.12.2014. Luettu 13.1.2015. <http://www.findikaattori.fi/fi/25>
23. Tilastokeskus. Energian hinnat. WWW-dokumentti. Ei päivitystietoa. Luettu 13.1.2015. <http://www.stat.fi/til/ene.html>
24. Energiateollisuus. Energiavuosi 2013 – kaukolämpö. WWW-dokumentti. Päivitetty 1.10.2015. Luettu 13.1.2015. <http://energia.fi/kalvosarjat/energiavuosi-2013-kaukolampo>
25. Kair Pilpit. Tekninen esite. PDF-dokumentti. Ei päivitystietoa. Luettu 13.1.2015. <http://www.pilpit.fi/images/esitteet/pilpit%20tekninenesite.pdf>
26. Sitra. Taloyhtiön energiakirja. WWW-dokumentti. Päivitetty 2011. Luettu 15.1.2015. <http://www.sitra.fi/julkaisu/2011/taloyhtion-energiakirja>
27. Ympäristöministeriö. Rakennusmääräyskokoelma, osa D2. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, 2012. PDF-dokumentti. Päivitetty 30.3.2011. Luettu 15.1.2015. http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf
28. Ympäristöministeriö. Rakennusmääräyskokoelma, osa D3. Rakennusten energiatehokkuus, 2012. PDF-dokumentti. Päivitetty 30.3.2011. Luettu 15.1.2015. http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf
29. Retermia Oy. Retermia news 1/2014. PDF-dokumentti. Päivitetty 2014. Luettu 15.1.2015. <http://www.retermia.fi/esitteet-ja-materiaalit/retermia-news/>

30. Naavatar. Poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmän esite. PDF-dokumentti. Ei päivitystietoa. Luettu 15.1.2015. http://naavatar.fi/wp-content/uploads/2012/09/naavatar_esite_K_LR.pdf
31. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus. Kuntien myöntämät korjaus- ja energia-avustukset. WWW-dokumentti. Päivitetty 2013. Luettu 15.1.2015. [http://www.ara.fi/fi-fi/Rahoitus/Avustukset/Kuntien myontamat korjaus ja energiaavustukset](http://www.ara.fi/fi-fi/Rahoitus/Avustukset/Kuntien_myontamat_korjaus_ja_energiaavustukset)
32. Ympäristöministeriö. Rakennusmääräyskokoelma, osa D1. Kiinteistöjen vesi- ja viemärilaitteistot, 2007. PDF-dokumentti. Päivitetty 24.1.2007. Luettu 16.1.2015. http://www.finlex.fi/data/normit/28208-D1_2007.pdf
33. Energiategollisuus. K1, rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet, 2013. PDF-dokumentti. Päivitetty 9.5.2014. Luettu 16.1.2015. http://energia.fi/sites/default/files/julkaisuk1_2013_20140509.pdf
34. Korjaustieto. Energiategokkuus eri aikakausien rakennuksissa. WWW-dokumentti. Ei päivitystietoa. Luettu 16.1.2015. <http://www.korjaustieto.fi/taloyhtiot/energiakorjaukset/energiankulutus-asuinkerrostalossa/paljonko-on-paljon-energiategokkuus-eri-aikakausien-rakennuksissa.html>
35. Omataloyhtiö. Tiilirakenne on energiategnisesti erinomainen. WWW-dokumentti. Päivitetty 21.10.2010. Luettu 18.1.2015. http://www.omataloyhtio.fi/artikkelit/7091/tiilirakenne_on_energiategnisesti.htm#.VLV60CvxKjI
36. Energiategokas koti. Poistoilmalämpöpumppu. WWW-dokumentti. Päivitetty 18.8.2014. Luettu 18.1.2015. http://www.energiategokaskoti.fi/suunnittelu/talotekniikan_suunnittelu/lammitys/ilmalampo_ja_maalampopumput/poistoilmalampopumppu
37. Gebwell Oy. T-sarjan maalämpöpumput. Esite. PDF-dokumentti. Ei päivitystietoa. Luettu 18.1.2015. <http://www.gebwell.fi/wp-content/uploads/2014/05/Gebwell-T-v3-8-160120141.pdf>

38. Jyväskylän Energia Oy. Kulutuksen raportointi-monitoripalvelu. WWW-sovellus. <http://www.jyvaskylanenergia.fi/>
39. Suomen talotekniikan kehityskeskus Oy. Talotekniikan elinkaaritarkastelut. Helsinki, 2001.
40. Suomen lämpöpumppuyhdistys ry. Lämpöpumpputilastoja. WWW-dokumentti. Ei päivitystietoa. Luettu 18.1.2015. <http://www.sulpu.fi/-/650-000-lampopumppua-alen-tavat-suomen-sahkonkulutusta-2->
41. Suomen Kiinteistöliitto. Taloyhtiö. Korjaushankkeen vaiheet. WWW-dokumentti. Ei päivitystietoa. Luettu 18.1.2015. <http://www.taloyhtio.net/korjausjaremontointi/to-teutus/vaiheet/>
42. Ilmatieteenlaitos. Lämmitystarveluvut. WWW-dokumentti. Päivitetty 20.1.2014. Luettu 20.1.2015. <http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>
43. Insinööritoimisto Sarkki Oy. LVI-kalenteri. Naantali. 2014.
44. Ympäristöministeriö. Rakennusmääräyskokoelma, osa D5. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, 2012. PDF-dokumentti. Päivitetty 17.5.2013. Luettu 20.1.2015. <http://www.ym.fi/download/noname/%7B8C5C3B41-E127-4889-95B0-285E9223DEE6%7D/40468>
45. Motiva Oy. Kulutuksen normitus. WWW-dokumentti. Päivitetty 16.1.2015. Luettu 20.1.2015. http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energian kayton_tehostaminen/kiinteistojen_energianhallinta/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammitysenergiankulutus
46. Balance Consulting. Sijoitetun pääoman tuotto. WWW-dokumentti. Ei päivitystietoa. Luettu 21.1.2015. http://www.balanceconsulting.fi/tunnusluvut/sijoitetun_paa-oman_tuotto

47. Matilainen Ari. Poistoilmalämpöpumpun hyödyntäminen vanhassa kerrostalossa. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. Päivitetty 8.5.2013. Luettu 21.1.2015.
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/58858/Matilainen_Ari.pdf?sequence=1
48. Lukander Jarkko. Poistoilmalämpöpumppu asuinkerrostalon lämmöntalteenotossa. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. Päivitetty 1.11.2013. Luettu 21.1.2015.
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/66988/Lukander_Jarkko.pdf?sequence=1
49. Huuhtanen Tero. Poistoilmalämpöpumppujen ja aurinkokeräinten kannattavuusvertailu kerrostalokiinteistössä. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. Päivitetty 21.3.2012. Luettu 21.1.2015 <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/40443/Poistoilmalampopumppujen%20ja%20aurinkokerainten%20kannattavuusvertailu%20kerrostalokiinteistossa.pdf?sequence=1>
50. Westman Mindi. Poistoilman lämmöntalteenotto. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. Päivitetty 15.5.2014. Luettu 21.1.2015. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/76399/Westman_Mindi.pdf?sequence=1
51. Enermix Oy. Kerrostalon poistoilman lämmöntalteenotto lämpöpumpputekniikalla. PDF-dokumentti. Päivitetty 28.11.2013. Luettu 21.1.2015
<http://www.sulpu.fi/documents/184029/1300198/15.%20Isojen%20kiinteist%C3%B6jen%20poistoilma%C3%A4mp%C3%B6pumput,%20Janne%20Heinonen.pdf>